



科学教育における協調学習を支援するための学習環境のデザイン : Knowledge Forumを利用した事例

竹中, 真希子

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2005-03-25

(Date of Publication)

2008-05-02

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3331

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003331>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

科学教育における協調学習を
支援するための学習環境のデザイン：
Knowledge Forum を利用した事例

平成16年12月1日

神戸大学大学院総合人間科学研究科

竹中 真希子

目次

はじめに.....	1
第1章 序論.....	5
1.1. 科学教育におけるコンピュータ利用の新しい研究動向.....	5
1.2. CSCL.....	6
1.2.1. CSCLの誕生史.....	6
1.2.2. 教育におけるコンピュータ利用の歴史的変遷からみたCSCLの特徴.....	8
1.3. 科学教育研究におけるCSCLの展開：科学教育研究誌の分析を通して.....	12
1.3.1. 方法.....	13
1.3.2. 結果1：4つの研究パラダイムの研究事例.....	13
1.3.3. 結果2：科学教育研究誌に掲載された4つの研究パラダイムの論文数... ..	15
1.4. 科学教育におけるCSCL研究の具体的事例.....	15
1.4.1. 概念的領域に関連するCSCL研究.....	17
1.4.2. 認識論的領域に関連するCSCL研究.....	19
1.4.3. 社会的領域に関連するCSCL研究.....	21
1.5. 科学教育におけるCSCL研究の現状と課題.....	23
1.5.1. 現状.....	24
1.5.2. 課題.....	24
1.6. 本研究の目的.....	26
第2章 Knowledge Forumの概要と有効性検証のための予備実験.....	29
2.1. 知識構築活動の支援.....	29
2.2. 共同体の協調的な学習の支援.....	34
2.3. 予備実験：Knowledge Forumの有効性.....	36
2.3.1. 予備実験の概要：「生命のつながり」.....	36
2.3.2. Knowledge Forumの利用可能性に関する評価の方法.....	37
2.3.3. Knowledge Forumの利用可能性に関する結果・考察.....	39
2.3.4. 学習者同士のコミュニケーション形態に関する評価の方法.....	44
2.3.5. 学習者同士のコミュニケーション形態に関する結果・考察.....	45
2.4. 総括.....	47
第3章 実験1：概念的領域に関する事例研究	
ーアナロジーに基づく理解深化ー.....	49
3.1. 概念的領域に関する事例研究の問題の所在.....	49
3.2. 実験授業の概要：「動物の発生と成長」.....	53

目次

3.3. Knowledge Forum のシステム・デザインの工夫	55
3.4. アナロジーに基づく理解深化の分析	56
3.4.1. 目的	56
3.4.2. 方法	58
3.4.3. 結果・考察1：全体分析	60
3.4.4. 結果・考察2：事例分析	62
3.5. 総括	65
第4章 実験2：認識論的領域に関する事例研究	
—知識構築型の情報検索—	67
4.1. 認識論的領域に関する事例研究の問題の所在	67
4.2. 2つの実験授業の概要	69
4.2.1. 実験授業4-1：「物の燃え方と空気」	69
4.2.2. 実験授業4-2：「水溶液の性質」	70
4.3. 知識構築型の情報検索に関する分析	77
4.3.1. 目的	77
4.3.2. 方法	78
4.3.3. 結果・考察	81
4.4. 総括	83
第5章 実験3：社会的領域に関する事例研究	
—オンライン上の相互作用とオフライン上の相互作用—	89
5.1. 社会的領域に関する事例研究の問題の所在	89
5.2. 実験授業の概要：「物の溶け方」	91
5.3. オンライン上の相互作用に関する分析	94
5.3.1. 目的	94
5.3.2. 方法	95
5.3.3. 結果・考察1：全体分析	95
5.3.4. 結果・考察2：事例分析	96
5.4. オフライン上の相互作用に関する分析	99
5.4.1. 目的	99
5.4.2. 方法	99
5.4.3. 結果・考察1：全体分析	102
5.4.4. 結果・考察2：事例分析	103
5.5. 総括	108
第6章 結論	113
6.1. 国内におけるCSCL研究事例の蓄積	113
6.2. 概念的・認識論的・社会的領域を統合した議論	114

6.3. コンピュータを利用した科学教育における協調学習を 成立させるためのデザイン原則.....	117
6.3.1. 教室における知識構築の決定要因	118
6.3.2. コンピュータを利用した科学教育における協調学習を 成立させる授業デザインに有効な要因の検討	124
6.4. 今後の課題と展望	134
引用文献.....	135
謝 辞	145

はじめに

CSCL (Computer Support for Collaborative Learning) は、社会的構成主義や状況的認知といった学習の社会的過程に焦点を当てた新しい学習理論を背景として、コンピュータやネットワークで協調的な学習を支援しようとする学際的な研究領域である。CSCLが目指すのは、学習者同士が問題を共有し、互いに協力しあって問題を探究するとともに、内容理解を深めていくような学習である。こうした学習を支援しようとするとき、学習の内実は、学習が行われる実践の文脈と切り離して吟味することができない。したがって、CSCLは「実践としての教育」を研究課題として、教育実践そのものの改善に貢献できるような知見を導き出すことが使命なのである。

もともと、CSCLは、科学教育の隣接学問領域である認知科学、学習科学、教育工学、教育心理学などの学問領域が相互に交流することで生まれた研究分野であり、最近では科学教育研究の領域内部にも影響を与えてきている。

本研究の目的は、コンピュータを利用した科学教育における協調学習を支援するための学習環境のデザインについて検討することである。この目的を達成するために、本研究では、第一に、CSCLシステムである Knowledge Forum を小学校の理科授業に導入して、事例研究を行う。第二に、この事例研究を通して科学教育におけるCSCL研究が包含している3つの課題を追究する。3つの課題とは、(1)「国内におけるCSCL研究事例の蓄積」、(2)「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」、(3)「コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」である。

本研究は6章で構成されている。各章の概要は、次に示す通りである。

第1章では、まず、コンピュータを利用した学習支援を歴史的変遷に沿って概観する。次に、CSCLに関する近年の研究動向を明らかにするため、先行研究のレビューを行う。対象は、CSCLが誕生した1990年から2003年6月までに国内外の科学教育研究誌に掲載された論文であり、かつ、科学教育の領域でコンピュータを利用した学習支援について扱った論文である。先行研究のレビューでは、文献計量的にその研究傾向を示すとともに、Duschl (2003) によって科学の教授・学習研究が扱う領域として示された「概念的領域」、「認識論的領域」、「社会的領域」の3つを枠組とし、CSCL研究で行われている科学教育に関する学習支援の特徴を描き出す。また、これらの先行研究のレビューを通して、科学教育におけるCSCL研究の現状と、前述した科学教育におけるCSCL研究が包含している3つの課題

はじめに

を明らかにする。そして、本研究でKnowledge Forumを採用し、これらの課題に取り組むための方法を示す。

第2章では、本研究で採用したKnowledge Forumのソフトウェアとしての基本的な概要とその有効性について示す。Knowledge Forumは、カナダのトロント大学オンタリオ教育研究所にあるIKIT (Institute for Knowledge Innovation and Technology) で開発されたソフトウェアで、本研究で用いたのは、このWeb版 (Web Knowledge Forum) である。本章では、Knowledge Forumの有効性を検討するため、小学校の理科授業にソフトウェアを実験的に導入して、評価を実施した。有効性を評価する理由は、Knowledge Forumを日本の小学校で利用するのは、本研究が初めてであり、カナダで開発されたソフトウェアが日本の小学校で利用可能か、また、その利用は学習者にとって有益なものとなり得るかを明らかにするためである。ここでは、学習者への質問紙調査の結果分析を通して、Knowledge Forumが日本の小学校で十分に利用可能であること、また、その道具の使用が学習に有効であることを示す。

第3章から第5章では、Knowledge Forumを利用した実験授業を試みる。これらの章では、Duschl (2003) が示した科学の教授・学習研究における「概念的・認識論的・社会的領域」に即した3つの事例研究を検討する。

第3章の概念的領域に関する事例研究では、小学校5年生の理科「動物の発生と成長」を対象に、Knowledge Forumのシステム・デザインを工夫することで、学習者のアナロジーを誘発するための学習環境を開発し評価する。開発した学習環境は、学習者が未知の内容について学習を展開する際に、学習者が内的に獲得している知識に加えて、Knowledge Forum上に外化された既習事項の知識ベースを利用できるようにするものである。実験授業の評価では、学習者が自分の理解を表現した図、Knowledge Forumのノート、並びに、授業の文脈に即した事例の分析を通して、こうした知識ベースの利用が、学習者の理解を深化させ概念変化をもたらすアナロジーを誘発していたことを明らかにする。

第4章の認識論的領域に関する事例研究では、6年生の理科「物の燃え方と空気」、「水溶液の性質」の2つを対象に、Knowledge Forumを利用して学習者の知識構築型の情報検索を支援するための実験授業を実施する。知識構築型の情報検索とは、他者が提供した情報の一方的な消費ではなく、他者の情報を利用するとともに、自己の情報も提供するような双方向的な情報検索である。2つの実験授業では、知識構築型の情報検索に関連する授業デザインの変数として、「科学的な探究活動の方法」、「他者の知識の参照を必要とする活

動の設定」, 「学習履歴の表現方法」, 「学習履歴の活用方法」の4点に焦点を当て, 授業デザインの修正を試みる. 実験授業の評価では, Knowledge Forumのノートを知識構築型の情報検索における情報利用と情報提供の側面から分析することで, 2つの授業デザインの差異が学習者の情報利用と情報提供の両面に変容をもたらしたことを明らかにする. また, その結果を授業デザインの観点から検討する.

第5章の社会的領域に関する事例研究では, 5年生の理科「物の溶け方」の授業において, ネットワークを介した学習者同士のオンライン上の相互作用と, Knowledge Forumを利用する際の会話や対面状況の学習活動といったオフライン上の相互作用を分析することで, Knowledge Forumの利用が共同作業場面における学習者のコミュニケーションを支援できていたかどうかについて検討する. オンライン上の相互作用の分析では, Knowledge Forumを利用することで学習者の理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用を実現できていたことを明らかにする. オフライン上の相互作用の分析では, Knowledge Forumを利用する際に行われた対面状況の学習活動において, オンライン上の相互作用がオフライン上の相互作用を促進するリソースとなっていたことを示す.

第6章では, 第3章から第5章の結果を踏まえ, 第1章で示した科学教育におけるCSCL研究の3つの課題, (1)「国内におけるCSCL研究事例の蓄積」, (2)「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」, (3)「コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」について考察し, 本研究の結論とするとともに, 今後の課題と展望を述べる.

第1章 序論

1.1. 科学教育におけるコンピュータ利用の新しい研究動向

コンピュータが教育の分野に導入されて以来、科学教育では、学習支援のためのコンピュータ利用に関する研究が行われてきている。90年代以降、こうした動向は極めて盛んである。インターネットやマルチメディアを始めとする高度情報通信技術の発展、教育の情報化政策の推進などが追い風となり、学習支援のためのソフトウェアやコンテンツの開発・評価、また、それらを活用した授業に関する研究が国内外で数多く実施されている。

このような状況において、科学教育のコンピュータ利用に関する研究領域の中に、“CSCL (Computer Support for Collaborative Learning ; 協調学習のためのコンピュータ支援)” と呼ばれる新しい研究動向が生まれてきている。その特徴は、社会的構成主義や状況的認知といった学習の社会的過程に焦点を当てた新しい学習理論を背景として、個人が一人で行う学習の支援というよりも、複数の学習者が一緒になって行う協調学習支援を目指している点にある。

もともと、CSCLは、科学教育の隣接学問領域である認知科学、学習科学、教育工学、教育心理学などが相互に交流することで生まれた学際的な研究分野である。最近では、科学教育研究の領域内部でCSCLに位置付けられる研究が行われ、その成果に注目が集められるようになってきている。

こうした研究動向は、国内外の科学教育研究誌のコンピュータ利用に関する特集で、CSCLの研究論文が掲載されていることに顕著に表れている。例えば、海外では、“International Journal of Science Education” 誌の第22巻第8号(2000)において、“The Knowledge Integration Environment” と題した特集が組まれている。これは、Linnらの研究プロジェクトによるCSCL研究の成果と課題を集中的に議論するために企画されたものである。また、“Research in Science Education” 誌の第32巻第4号(2002)、“Science Education” 誌の第87巻第4号(2003)といった特集号にも、数編のCSCL研究の論文が掲載されている。一方、国内でも、『科学教育研究』誌の第26巻第1号(2002)では、CSCL研究をテーマに取り上げた特集が組まれている。

しかしながら、現在までのところ、科学教育研究の領域内部においては、協調学習支援のためのコンピュータ利用の有効性や教育的意義が次第に明らかにされてきているものの、

第1章 序論

個々の研究の相互関係や今後の展望を含めて、今日の科学教育におけるCSCL研究の全体像は明瞭にされていない。例えば、Scanlon *et al.* は、コンピュータを利用した科学教育研究の動向を解説しているが (Scanlon, 1997 ; Scanlon *et al.*, 2002), 本研究で議論するCSCL研究の動向を詳細に検討しているわけではない。

もちろん, 教育工学, 人工知能, 認知科学といった隣接学問領域においては, すでにCSCL研究に関する総説が公表されており, その全体像が俯瞰されてきている (稲葉・豊田, 1999; 中原ら, 2002 ; 三宅・白水, 2003). しかし, これらの総説は, 国内外のCSCL研究全般が考察の対象となっているため, 科学教育におけるCSCL研究の全体像と今後の課題について焦点の絞られた議論はなされていない。

そこで, 本章では, 科学教育におけるCSCL研究の現状を明らかにするとともに, 現状の科学教育におけるCSCL研究が包含している課題を議論する. 本研究の目的は, 本章で見出された科学教育におけるCSCL研究の課題に取り組み, コンピュータを利用した科学教育における協調学習を支援するための学習環境のデザインについて検討することである。

以下では, まず1.2. で隣接学問領域において誕生したCSCL研究の概要について説明する. 具体的には, CSCLが学際的な研究分野として, いつどのように誕生したのか, 従来の研究と比較したときのCSCLの特徴はどこにあるのかについて明らかにする. 次に, 1.3. では, 科学教育研究の領域内部におけるCSCLの展開に目を向けて, 国内外の代表的な科学教育研究誌を分析し, 海外・国内の科学教育研究においてCSCLに関する研究が展開されている現状を明らかにする. さらに, 1.4. では, CSCL研究がコンピュータを利用することで, 科学の学習のどのような側面をいかに支援しようとしているのかについて, 個々の研究事例を具体的に示す. なお, 科学を扱ったCSCLの代表的な研究の一部は, 科学教育研究の領域外で行われている. そこで, 具体的事例を取り上げる際には, やや視野を広げ, 国内外の代表的な科学教育研究誌に加えて, CSCLに関する国際会議などの研究誌も参照する. そして, 1.5. では, 科学教育におけるCSCL研究の全体像と課題について, 総合的に考察する. 最後の1.6. においては, 科学教育におけるCSCL研究の課題を受けた本研究の目的を詳しく述べるとともに, 課題に対する取り組みの方法を示す。

1.2. CSCL

1.2.1. CSCLの誕生史

CSCLに初期の段階から携わっている Koschmann (1994) によれば, CSCLという用語が初めて公的に使用されたのは, 1989年9月にイタリアのマラテアで開催されたNATOのワークショップである. このワークショップでは, 学習者同士の相互学習に関する理論的・実践的研究, コンピュータ支援による共同作業に関する研究, 協調的な相互作用の認知モデル, コンピュータやネットワークを介したコミュニケーション, 同期的な協調学習を支援するためのソフトウェアのデザイン, という5つの領域に焦点を当てた15の研究成果が報告された (O'Malley, 1995).

CSCLに関するワークショップが開催された経緯について, ワークショップの論文集の編者である O'Malley は, 次のように述べている (O'Malley, 1995). CSCL登場以前, 教育のためのコンピュータ利用では, 「個人の学習」を支援しようとしていた. 例えば, 学習者が自分のペースで学習を進めるための支援や, 教師が学習者一人ひとりの要望に応じて学習指導を行うための支援である. しかしながら, こうした形でコンピュータを実際の教育現場へ導入してみても, 期待していたような学習支援の効果を上げることはできなかった. 研究者たちが気付いたのは, 学習者個人を取り巻く組織的・文化的・社会的文脈が, 実際の教育現場におけるコンピュータ利用の制約になっているということであった. そこで, このような制約を乗り越えるために, 学習の組織的・文化的・社会的文脈に着目していた協調学習に関する研究の成果を参照しつつ, 技術的な発展が著しいコンピュータ・ネットワークを活用することで, 新しい教育用ソフトウェアの開発や実践的利用に着手する動きが高まってきたのである.

このような経緯で, 教育学, 認知心理学, 人工知能などを学問的背景に持つ研究者が NATO ワークショップに集結し, 学習の組織的・文化的・社会的文脈に関する課題や, 教育用ソフトウェアのデザインのあり方などについて議論を繰り広げた.

NATOワークショップ以降の動向については, まず, 1991年に南イリノイ大学で, 1992年にトロント大学オンタリオ教育研究所で, CSCLに関する国際的なワークショップが行われた (Koschmann, 1992, 1993). その後, CSCLに関する学会が発足し, 1995年には, 初の国際会議がインディアナ大学で開催された. 現在は, 北米を中心とした学会である Computer Support for Collaborative Learning とヨーロッパを中心とした学会である European Conference on Computer-Supported Collaborative Learning の2つの国際学会が組織されており, それぞれの学会で2年に1度, 国際会議が開催されるようになっている.

CSCL研究に関する代表的な著書については、O'Malleyが編集し、1995年に出版された“Computer Supported Collaborative Learning”を挙げることができる（O'Malley, 1995）。この著書は前述のNATOのワークショップにおける研究報告をまとめて編纂したものである。この他には、Koschmannが編集した“CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm”（Koschmann, 1996）、その続編である“CSCL2: Carrying Forward the Conversation”（Koschmann *et al.*, 2002）などが出版されている。

1.2.2. 教育におけるコンピュータ利用の歴史的変遷からみたCSCLの特徴

Koschmann (1996) は、教育におけるコンピュータ利用の歴史的変遷を検討する中で、CSCLの特徴を議論している。ここでは、Koschmannの議論を参照しながら、CSCLの特徴について述べる。

Koschmann は、教育におけるコンピュータ利用の歴史的変遷について、「CAI (Computer-Assisted Instruction)」、「ITS (Intelligent Tutoring System)」、「Logo-as-Latin」、「CSCL」という4つの研究パラダイムの転換という観点から検討している。ここでは、コンピュータの技術的な発展というよりも、むしろ、各パラダイムにおける学習理論、教育モデル、研究課題を整理することが試みられている。

表1-1には、Koschmannが整理した4つの研究パラダイムを示している。以下では、この表1-1に沿って、それぞれのパラダイムの内実を概観する。

(1) CAI

CAIの目的は、最小限の時間と負担で多くの内容が確実に定着するように、学習者の能力に即した個別学習をコンピュータ利用によって実現することである。

表1-1に示すように、CAIパラダイム出現の指標となる出来事は、1960年におけるコースライターIの導入である。コースライターIは、コンピュータやプログラミングの知識がなくても、学習者への問題提示、解答の正誤判断、結果のフィードバックを実行するようなコンピュータ・プログラムを簡単に作成できるソフトウェアである。このようなソフトウェアを使ってプログラムを作成しておけば、教師1人でも、個別学習を実施できる。

CAIの学習理論である行動主義では、学習とは、学習者が与えられる刺激に対して正しく行動できるようになることだと定義される。この学習理論から導き出される教育モデルは、プログラム化された教育である。行動主義では、学習は学習者を取り巻く刺激によっ

表 1-1 教育におけるコンピュータ利用に関する4つの研究パラダイム

パラダイム	パラダイム出現の 指標となる出来事	学習理論	教育モデル	研究課題
CAI	コースライターI の導入 (1960)	行動主義	プログラム化 された教育	教育の効率化
ITS	Carbonell の 学位論文 (1970)	情報処理理論	双方向性を 持った1対1 の個別教育	教育の能力
Logo -as-Latin	Mindstorms の出版 (1980)	構成主義	発見による学習	教育の転移
CSCL	NATO ワークショップ (1989)	学習の社会的 過程を指向し た理論	協調学習	実践としての 教育

第1章 序論

て統制可能であるとされるので、適切な刺激を体系化することが有効な教育モデルとなる。また、研究課題については、特定の時間内において学習内容を確実に定着できたか、そこでは開発や実施に関わる教師や学習者の時間的負担をどのように抑えることができたかという教育の効率化が設定される。

(2) ITS

ITSの目的は、学習者がコンピュータと双方向的にやり取りできるようにし、学習者一人ひとりの知識の獲得や構造化を支援することである。

ITSパラダイム出現の指標となる出来事は、Carbonell (1970) の学位論文である。論文では、SCHOLARと呼ばれる地理学の学習を支援するためのソフトウェア開発について報告されている。このソフトウェアは、学習内容に関する情報と、その情報を処理するための機構を持っており、コンピュータ自身が推論したり問題解決したりできる特徴を備えている。ITSにおけるコンピュータは、学習者の質問に応答したり、学習者に対して問題解決過程を提示したりできる。また、学習者が誤りを犯した場合にその誤りの原因を推定して助言を与えることが可能である。

ITSの学習理論である情報処理理論では、人間の認知活動は、感覚器官から入力される情報を既有知識を使って処理する過程とみなされ、学習とは、新しい知識を獲得したり、既存の知識を構造化したり、すでに構造化されているものを組み換えたりすることだと捉えられる。したがって、学習者一人ひとりにコンピュータと対話させながら、問題解決、知識獲得、知識の構造化を適切に支援することが有効な教育モデルとなる。研究課題は教育の能力である。これは、コンピュータが学習者の質問に適切に応答する能力、問題解答過程をわかりやすく提示する能力、学習者の誤りに対して的確にアドバイスを提示する能力のことである。前述したように、ITSにおけるコンピュータには学習内容情報や処理機構が備えられており、コンピュータの能力はこれらの情報や機構の量と質に依存する。このため、ITSでは、開発したソフトウェアの能力を評価することが、研究の中心的な課題となる。

(3) Logo-as-Latin

Logo-as-Latinの目的は、コンピュータ上に実験・観察のための仮想環境を準備し、学習者の知識の発見的獲得を支援することである。

Logo-as-Latinパラダイム出現の指標となる出来事は、1980年における“Mindstorms”

の出版 (Papert, 1980) だとされている。この著書の中で、Papert は、LOGO という教育用プログラム言語を紹介している。LOGO を使うと、学習者はコンピュータ上のタートルに図形を描かせるためのプログラムを作成することができる。作成したプログラムを実行すれば、タートルが動き出し、図形が描かれる。学習者は画面を見ながら期待した通りの図形かどうかを評価し、期待通りの図形が描かれるまでプログラムを修正するのである。Papert (1980) によれば、学習者は、プログラムの作成・実行・修正という試行錯誤を繰り返す中で、図形に関する知識を発見的に獲得していくとされている。しかも、発見的に獲得した知識は、受動的に与えられた知識に比べて、応用性が優れていると言われている。

Logo-as-Latin の学習理論である構成主義では、学習とは、学習者が能動的に環境に働きかけることを通して主体的に知識を構成していく過程であると捉えられる。このような学習理論から導き出される教育モデルが、発見による学習である。学習者の能動的な環境への働きかけがあって学習が成立するのであるから、そうした働きかけを促進する環境の整備が、知識の発見的獲得を支援するための教育のモデルだと考えられている。また、前述のように、発見的に獲得した知識は、受動的に与えられた知識に比べて、応用性が優れているとされているため、ある教育場面で獲得した知識は、他の場面へ転移することが期待される。Logo-as-Latin では、学習者が発見した知識をどのような場面にもでも応用できるかどうかという教育の転移を測定することが重要な研究課題となる。

(4) CSCL

CSCL の目的は、学習者一人ひとりが行う個人的な学習の支援というよりも、むしろ、複数の学習者による協調学習を支援することである。

CSCL パラダイム出現の指標となる出来事は、前述した NATO ワークショップである。このワークショップでの研究報告では、コンピュータは、複数の学習者の共同作業のための道具、コミュニケーションのための道具として利用されている。CSCL は、学習の社会的過程を指向する学習理論を背景としており、この中には、社会的構成主義、活動理論をベースとした社会文化的アプローチ、状況的認知といった新しい学習理論が含まれる。これらの学習理論では、学習は、学習者一人ひとりの頭の中で起こる個人的な営みというよりも、学習者が他者と協調することで成し遂げられる社会的な営みとして捉えられる。

CSCL の学習理論に従えば、学習は他者と協調する社会的な営みである。したがって、その社会的な部分を積極的に活かした教育の実現として、学習者同士が問題を共有し、協力

して問題を探究するとともに、内容理解を深めていくような協調学習が教育モデルとして導き出される。また、CSCLにおける研究課題は、実践としての教育である。前述したように、CSCLにおける学習とは、他者との協調に基づくものである。この理論的定義からすると、学習の内実は、学習が行われる実践の文脈と切り離して吟味することができないことになる。このため、学習者がコンピュータを使って行う学習プロセスそのものが研究課題に設定されるのである。

1.3. 科学教育研究におけるCSCLの展開：科学教育研究誌の分析を通して

1.3. では、科学教育研究誌の分析を通して、海外および国内の科学教育研究分野において、CSCLに関する研究が展開されてきている現状を明らかにする。

後述するように、分析の枠組みには、Koschmann (1996) の議論を参照し、4つの研究パラダイムを採用した。Koschmann の議論を参照した理由は、科学教育の領域内部において学習理論の転換が起き始めており、Koschmann が学習理論の転換からCSCLを位置付けているからである。

科学教育の研究分野においては、Koschmann が整理したような学習理論の転換について議論が行われている (Fraser & Tobin, 1998 ; 日本理科教育学会, 1998, 2002)。とりわけ、CSCLの背景理論である社会的構成主義、社会文化的アプローチ、状況的認知が理科教育にもたらす意義については、集中的に検討がなされ始めている (例えば、稲垣・中山・森藤・山口・吉岡・遠西, 1997 ; 稲垣, 1998 ; 森藤, 1998 ; 山口, 1998 ; 中山, 1998 ; 吉岡, 1998 ; 遠西, 1998)。

また、科学教育研究の領域内部で展開されているCSCL研究も、学習理論の転換を自らの理論的背景としている。例えば、『科学教育研究』誌のCSCLに関する特集号では、楠ら (2002) がKoschmann (1996) を引用しつつ、新しい学習理論である状況的認知を研究の背景としている。鈴木・舟生 (2002) や永井ら (2002) は、状況的認知をソフトウェア開発・利用に際しての学習論的背景としている。杉本ら (2002) も、自らの研究を含むCSCL研究が、状況的認知や活動理論をベースにしていると述べている。さらに、石塚ら (2002) も、社会文化的アプローチに基づいてソフトウェア開発を行っている。

このような現状において、学習理論の転換という視点に立ったKoschmannの議論を参

照すれば、科学教育研究の領域内部の研究動向に即した形で、CSCLに関する研究の展開を明らかにできると考えられる。

1.3.1. 方法

(1) 対象

分析対象は、CSCLの学問領域が誕生したNATOワークショップの翌年に当たる1990年1月から2003年6月現在までに国内外の代表的な科学教育研究誌に掲載された論文であった。海外に関しては、国際的な科学教育研究誌“Science Education”，“Journal of Research in Science Teaching”，“International Journal of Science Education”，“Research in Science Education”，および、コンピュータを利用した科学の学習に関する隣接学問領域の研究誌“The Journal of the Learning Sciences”に掲載された論文であった。国内については、代表的な科学教育研究誌『科学教育研究』、『理科教育学研究(旧・日本理科教育学会研究紀要)』、隣接学問領域の『日本教育工学雑誌』に掲載された論文であった。

(2) 分析

分析の枠組みには、前述したKoschmannによる4つの研究パラダイムを採用した。分析の手続きについては、まず最初に、分析対象から、コンピュータを利用した科学の学習に関する論文を抽出した。次に、抽出した論文ごとに、背景としている学習理論、研究目的、コンピュータ利用の仕方を検討し、これらの論文を「CAI」、「ITS」、「Logo-as-Latin」、「CSCL」の4つに分類した。

1.3.2. 結果1：4つの研究パラダイムの研究事例

4つの研究パラダイムごとに、科学教育ではどのような研究が行われているのかを事例的に検討する。以下の事例では、各パラダイムの典型的な論文を取り上げている。典型的な論文というのは、学習理論、研究目的、コンピュータ利用の仕方という観点からみて、各パラダイムの特徴を顕著に示している論文である。

まず、CAIについては、Holliday & McGuire (1992) が、熱と温度に関する理解の定着を目指して、アニメーションと問題づくりを試みている。また、Dori & Barnea (1997) は、分子構造に関するソフトウェアを利用した研究を行っている。国内では、石原ら(1992)

が、高校物理における物体の運動、等速円運動、熱力学などを対象としたソフトウェアを開発している。

ITSについては、Nachmias *et al.* (1990) が、熱と温度に関する学習のためのソフトウェアを開発している。このソフトウェアは、加熱と水温の上昇との関係について、学習者の予測をグラフ化するとともに、学習者が理解できていない部分を診断する機能を備えている。また、Andaloro *et al.* (1994) は、物体の速度に関する学習者の理解度を診断するソフトウェアを開発している。国内では、平賀ら (1993) が、中学生を対象とした粒子概念に関する学習を支援するためのソフトウェアを開発している。このソフトウェアでは、学習者の理解度を診断することができ、学習者に個別のフィードバックを与えることで、粒子概念の定着を試みている。岡本ら (1997) は、高校物理の力学を対象に、振り子の衝突に対する科学的な説明を提示できるソフトウェアを開発している。

Logo-as-Latin については、Hafner & Stewart (1995) が、ショウジョウバエの突然変異に関するシミュレーションを開発している。この研究では、学習者にシミュレーション結果を説明させる中で、遺伝概念を発見的に獲得することが目指されている。Williamson & Abraham (1995) は、物質の粒子に関する3Dアニメーションを開発し、それが学習者のメンタルモデルに与える影響を調査している。国内では、Akahori *et al.* (1992) が、海外の日本人学校向けに、太陽の動きと月の満ち欠けをシミュレートするソフトウェアを開発している。この研究では、シミュレーションで学習者の方位に関する知識の構造化を支援しようとしている。宮脇・杉 (1993) は、ニュートン力学に関する学習者の理解を促進するために、前述したLOGOを活用している。

CSCLについては、海外では、Roschelle (1992) が、高校物理を対象に、物体の速度・加速度・位置に関する協調学習について検討している。この研究では、学習者の概念変化が、コンピュータを利用した生徒同士の相互作用や理解の共有の中で生起していることを示唆している。Fretz *et al.* (2002) は、水質に関する探究活動のモデルづくりを支援する研究に取り組んでいる。国内では、竹中ら (2002) が、インターネットを介してアクセスできるデータベース型のソフトウェアを利用して、小学校理科における学習者の協調的な知識構築活動の支援を試みている。楠ら (2002) は、小学校の環境問題学習を対象として、ボードゲーム型の環境シミュレーションを開発し、対面状況での学習者同士の議論支援を行っている。

1.3.3. 結果2：科学教育研究誌に掲載された4つの研究パラダイムの論文数

表1-2・表1-3には、海外と国内の科学教育研究誌に掲載された4つの研究パラダイムの論文数について、1990～1994年（90年代前半）、1995～1999年（90年代後半）、2000～2003年（2000年以降）の3つの年代ごとに示している。

まず、海外の研究誌の論文数については、90年代前半では、Logo-as-Latinの論文が最も多く、17編である。この数は、コンピュータ利用に関する論文全体のうち約7割に相当する。これに対して、CAIは3編、ITSは4編、CSCLは3編であり、全体のわずか1～2割程度である。

90年代後半になると、これらの傾向が少し変化している。Logo-as-Latinの論文は17編であり、90年代前半と同数である。CAIやITSも同様に、ほぼ同数である。これらに対して、CSCLは14編と90年代前半よりも3倍以上増加している。

CSCLの増加傾向は、2000年以降さらに顕著になっている。CSCLは37編であり、90年代後半の2倍以上になっている。その一方で、Logo-as-Latinは16編、CAIは1編と90年代後半とほぼ同数である。ITSに至っては、1編しか掲載されていない。

では、国内はどうであろうか。90年代前半ではCAIとLogo-as-Latinが6編、ITSが4編である。この年代には、CSCLの論文は掲載されていない。90年代後半になると、Logo-as-Latinは7編と90年代前半とほぼ同数なのに対して、CAIやITSは2編と減少傾向にある。CSCLはこの年代に初めて登場し、2編が掲載されている。

しかし、2000年以降になると、このような傾向は大きく変化している。CAIやITSやLogo-as-Latinが1～2編であるのに対して、CSCLは11編である。90年代後半と比べても5倍以上にまで至っている。

1.4. 科学教育におけるCSCL研究の具体的事例

1.4.では、CSCL研究がコンピュータを利用することで、科学の学習のどのような側面をいかに支援しようとしているのかについて、CSCLに関する国際会議の論文誌も参照しながら個々の研究事例に即して具体的に検討する。このために、Duschl (2003) が示した「科学の教授・学習研究における3つの領域」という分類枠組みを援用する。なぜなら、この分類枠組みは科学教育研究が科学の学習のどのような側面に対していかに寄与するのかを明確に示すものであり、CSCL研究における学習支援の特徴を描き出すために有効だと考え

表 1-2 海外の科学教育研究誌に掲載された論文数

年	CAI	ITS	Logo-as-Latin	CSCL	計
1990-1994	3	4	17	3	27
1995-1999	2	5	17	14	38
2000-2003	1	1	16	37	55

単位は編.

表 1-3 国内の科学教育研究誌に掲載された論文数

年	CAI	ITS	Logo-as-Latin	CSCL	計
1990-1994	6	4	6	0	16
1995-1999	2	2	7	2	13
2000-2003	2	1	2	11	16

単位は編.

られるからである。

Duschlは、科学教育の教授・学習研究は概念的・認識論的・社会的という3つの領域を扱っていると述べている。概念的領域とは、「科学的な推論に必要とされる概念構造や認知過程」に関する領域である。この領域に関連するのは、学習内容についての概念転換や理解深化に焦点を当てた研究だと考えられる。

認識論的領域とは、「科学的探究の方法を発展させたり、評価したりする際に必要とされる認識論的枠組み」についての領域と述べられている。この領域に位置付けられる研究は、科学的な探究の方法や技能を扱った研究であると考えられる。

社会的領域とは、「知識が伝達・共有されたり表現されたりする方法、あるいは知識が立証されたり討論されたりする方法に関する社会的プロセスと場」についての領域だとされている。この領域に該当するのは、学習者が他者と協力して科学的な探究を行う際の学習者同士の共同作業やコミュニケーションを扱った研究であると考えられる。

以下では、概念的・認識論的・社会的という3つの領域ごとに代表的な研究事例を取り上げて、各領域に関連するCSCL研究がコンピュータを利用していかなる学習支援を試みているかについて検討する。

1.4.1. 概念的領域に関連するCSCL研究

概念的領域に関連するCSCL研究では、知識の可視化支援を試みている。知識の可視化支援というのは、文字やグラフィックスの形で、学習者が所有する知識や学習者に学ばせたい知識をコンピュータ上で「見える」ようにすることである。

例えば、Songer & Linn (1991) は、第8学年の熱力学を対象にした学習において、複数のソフトウェアを利用した教育実践について報告している。これらのソフトウェアは、学習者が行っている実験のデータを自動的にグラフで表示したり、実験の目的・予想・結果などをコンピュータ上に記録したりできるものである。また、温度と熱に関する科学的な原理に基づいて実験結果を説明することを支援するソフトウェアもある。Songer & Linn は、このソフトウェアを用いた学習を通して、生徒らの熱や温度に対する素朴概念が科学的概念へと転換すると同時に、日常的な現象に対する学んだ知識の適用も促進されたと報告している。

Williams & Linn (2002) は、学ばせたい知識をコンピュータ上で提供すると同時に、授業の進行に沿って、学習者が所有する知識をコンピュータ上に表現させるという学習につ

第1章 序論

いて報告している。この学習の目標は、種・栄養・光合成といった植物の成長に関連する知識を獲得するとともに、獲得した知識を統合し、地球上と宇宙空間における植物の成長の違いを説明できるようになることである。このカリキュラムでは、Webベースの学習とハンズ・オンの実験が組み合わされている。Webベースの学習では、植物の成長に必要な土・水・栄養・空気・光の役割が文字やグラフィックスで説明された教材を読み、その内容を他の学習者と議論する。ハンズ・オンの実験では、植物を栽培し、地球上と宇宙空間における植物の成長を比較する。Webベースとハンズ・オンのいずれにおいても、教材・実験を通してわかったことをコンピュータ上に書き込むようになっている。Williams & Linnは、このような学習を通して、種・栄養・光合成に関する理解が深化し、地球上と宇宙空間における植物の成長の違いを科学的に妥当な仕方で説明できるようになったと報告している。

また、地球の気象データや学習者の気象に関する予想などをコンピュータ上で図式的に「見える」ようにした研究も報告されている。Edelson (2001)は、“World Watcher”と“The Progress Portforio”と呼ばれるソフトウェアを利用した「地形と気温」の学習について報告している。World Watcherは、地球の温度分布を色分けして表示する機能を持っており、学習者は温度分布の予想を立てて、実際の温度分布と比較することができる。The Progress Portforioは、コンピュータ画面を記録して、そこにコメントをつけたりプレゼンテーションを作成したりすることのできるソフトウェアである。学習者らは、World Watcherで作成した気温地図をThe Progress Portforioに取り込み、観測データの記録、説明などを書き加えながら、地形と気温の関係を整理できるのである。

Tabak & Reiser (1997)は、科学者が扱う自然事象に関するデータに基づいて、生物の適応や自然淘汰といった生物進化の仕組みをコンピュータ上で表示できるようにした研究を報告している。それは、ガラパゴス諸島に棲息するフィンチの研究を題材にして、生物領域の適応や自然淘汰について学習するために利用できるソフトウェアの開発である。“Finch Scenario”と呼ばれるこのソフトウェアでは、ガラパゴス諸島の雨量、体長やくちばしの長さといったフィンチの生態的特徴、エサの種類などの多様なデータが学習者に提供される。学習者が季節や個体別特徴などの変数を操作すると、これらのデータがグラフや表で表示されるようになっている。また、観察したグラフや表は操作ログデータとしてソフトウェアに保存されており、学習者は、問題解決に必要なデータをその中から選んでカテゴリ別に分類・整理することができる。このように、Tabak & Reiserのソフトウェア

では、環境変化によって生物個体が変化することを「見える」ようにすることで、適応や自然淘汰に関する理解の促進を支援しているのである。

このほか、Smith & Blankinship (1999) は、ビデオクリップを利用して、ライオンの捕食行動について学習するためのソフトウェアを開発・利用している。このソフトウェアには、ビデオクリップを観察する機能、ビデオクリップの特定の場面に注釈を付ける機能、ビデオクリップの場면을静止画の状態で一覧表示する機能が実装されている。学習者は、ライオンの捕食行動に関するビデオクリップを自由に再生・停止しながら、特定の場面に対して気付いたことを書き込むことができるようになっている。また、特定の画面を一覧表示しながら比較することで、捕食行動に関係する要因を同定し、最終的にライオンの捕食行動をモデル化することができる。高校生を対象とした授業における実証実験の結果、多くの学習者が捕食者と被食者の両方の行動に言及しつつ、捕食行動をより正確に説明できたことが明らかにされている。

以上のように、概念的領域に関連するCSCL研究では、文字やグラフィックス、地図、グラフ、表、ビデオクリップを駆使しながら、植物の成長、地球の気象、熱や温度、適応・自然淘汰、捕食行動といった内容領域について学習者が所有する知識や学習者に学ばせたい知識を可視化しようとしている。こうした可視化の結果、学習者の理解深化や素朴概念の転換を促進することに成功している。

1.4.2. 認識論的領域に関連するCSCL研究

認識論的領域に関連するCSCL研究は、情報検索、実験の仮説・計画・結果のモニタリングといった科学的な探究に必要な活動の支援を目指している。つまり、科学的な探究の方法をコンピュータで支援しようとしている。

Hoffman *et al.* (2003) は、情報検索のためのソフトウェア“Artemis”を、天文学、生態学、地質学、気象学に関する第6学年の学習で利用した結果について報告している。Artemisは、大学のデジタル・ライブラリのための検索用ソフトウェアである。Hoffmanらは、Artemisのようなソフトウェアで、学習者の適切な情報検索を支援することができれば、科学教育における学習者の科学的な探究能力を育成することにつながると議論している。

Petrosino *et al.* (1997) も、情報検索の支援に取り組んでいる。とくに、インターネット上の膨大な情報の中から問題解決に必要なものを適切に検索することをソフトウェアに

第1章 序論

よって支援しようとしている。この取り組みにおいては、“The Mission to Mars Webliographer” と呼ばれるソフトウェアが開発されている。このソフトウェアは、インターネットを利用して火星探索について学習する際に、WebサイトのURLや説明をデータベースとして蓄積し、「火星の表面」、「宇宙での健康と栄養」、「国家プロジェクト」といったカテゴリごとにそれらの情報を整理できるようにしたものである。さらには、そうして蓄積した情報を他者と共有できる機能を実装している。

また、実験の仮説・計画・結果のモニタリングの支援に取り組んでいる研究もある。Shimoda *et al.* (2002) は、“SCI-WISE” と呼ばれるソフトウェアを開発している。このソフトウェアは、「問題を設定する」、「仮説を立てる」、「自分たちの実験結果を振り返る」という活動に関して、学習者にアドバイスを提供するように設計されている。学習者はソフトウェアを利用することで、学習状況に応じて必要なアドバイザーを選びながら、アドバイスを受けることができる。Shimoda らは、第6学年の「人間の記憶」に関する学習においてソフトウェアを利用した結果、学習者の探究活動における実験仮説や実験結果のモニタリングが促進されたことを明らかにしている。

Davis & Linn (2000) は、学習者のモニタリングと探究活動の促進を同時に支援するためのソフトウェアについて報告している。“Mildred” と名付けられたこのソフトウェアは、学習者に2種類のプロンプト（学習者に入力を促すための画面表示）を提供する。一つは自らの内容理解のモニタリングを支援する「自己モニタリング・プロンプト」、もう一つは仮説設定・実験計画といった探究活動そのものを促進する「活動プロンプト」である。学習者はこれら2種類のプロンプトを手がかりにしながら文章を入力することで、モニタリングや探究活動を進めていく。Davis & Linn は、ソフトウェアに記録されたデータや授業の記録データを分析し、学習者による自らの理解状態に対するモニタリングが支援されるとともに、学習者の探究が促進されていたことを明らかにしている。

このほか、探究結果のレポート作成を支援する研究もある。Kolodner & Nagel (1999) は、風船を使った自動車などのものづくりを通じた学習のために、“Design Discussion Area” というソフトウェアを開発している。このソフトウェアには、プロンプト機能とコメント機能が実装されている。前者の機能では、ものづくりの設計・実験計画・実験結果をレポートにまとめる際に、どのような内容を記入すればよいかのガイドラインがレポート入力画面に表示される。後者の機能では、他者のレポートに対して意見や疑問を付け加えることができる。これら2つの機能を通して、レポート作成の質を高めることが目指さ

れている。

以上で示してきたように、認識論的領域に関連するCSCL研究では、デジタル・ライブラリの情報検索用ソフトウェア、問題設定や実験結果のふりかえりなどにアドバイスを提供するソフトウェア、モニタリング・探究活動・レポート作成のためのガイドラインを表示するソフトウェアを開発・利用することで、科学的な探究に必要となる活動の支援を行っている。これらソフトウェアの有効性については、適切な情報検索や実験仮説・結果などに対するモニタリング、自分の理解状態に対するモニタリングなどを促進することが見出されてきている。

1.4.3. 社会的領域に関連するCSCL研究

社会的領域に関するCSCL研究は、学習者がコンピュータを利用して議論を構築することや、学習者同士がコミュニケーションしたり共同作業したりすることを支援している。

例えば、Bell & Linn (2000) は、Web上の情報を利用した議論構築を支援するためのソフトウェア“SenseMaker”を開発している。SenseMakerでは、Webページのブックマークがアイコン表示されており、それらのアイコンを任意にグループ化することで、関連する情報を整理できる。このソフトウェアを使うことで、自分の考えを支持する証拠を集め主張を作り上げる過程や、他者の考えに対する反対意見の証拠を集めて整理する過程が支援される。Bell & Linnは、中学生172名を対象に実施した「光の伝達」の授業に関する結果を報告している。そこでは、学習者が証拠に基づいて議論し、科学に対する見方・考え方を固定的なものから動的なものへと変化させていたことなどが明らかにされている。

学習者同士のコミュニケーションについては、1台のコンピュータを複数の学習者で利用しながら行われるFace to Faceのコミュニケーションに焦点を当てた研究が行われている。Kozma (1999) は、分子構造をモデル化するソフトウェアを利用した実験と通常のハンズオンの実験を学習者2人1組で行わせて、そこでの会話を分析した研究について報告している。分析の結果、ソフトウェアを利用した実験の方が、化学的な概念についての議論がより多く起こっていたことが明らかになっている。この結果から、Kozmaはソフトウェアではソフトウェア上に示された分子モデルが直接的なリソースとなり、化学的な概念についての議論が活性化していたと指摘している。

ネットワークを介したコミュニケーションについての研究も盛んである。Hoadley & Linn (2000) は、ネットワーク上の議論を支援するソフトウェア“SpeakEasy”を開発し

第1章 序論

ている。SpeakEasyは「意見領域」と「議論領域」という2つの領域が設定された電子掲示板である。意見領域では、学習者に対して学習課題が提示される。まず最初に、学習者は学習課題に対する自分の意見を掲示板に書き込むことが求められ、それを終わると他の学習者の意見を読むことができる。議論領域では、他者の意見にコメントを付けることができる。他者から付けられたコメントに返事をする際には、「もしくは」「しかし」「すなわち」などのラベルを選択することが求められる。

Hoadley & Linnは、SpeakEasyを第8学年の「色の性質」の授業に導入している。この授業では、ケプラーとニュートンの論争に学習者が仮想的に参加する学習形態と、ケプラーとニュートンの論争が説明文によって与えられるという学習形態が設定されている。学習者の学習内容に対する理解や議論の質を評価した結果、論争に参加した学習者の方が、説明文を選択した学習者よりも、質の高い議論を展開できたことが明らかにされている。

杉本ら（2002）も、“建設的会話支援システム”というソフトウェアに関する開発・利用について報告している。このソフトウェアは、学習者がネットワーク上で会話を行うためのものである。その特徴は、学習者の発言を促すリード文が準備されていることと、会話の流れが図式的に表現されることである。このような特徴を備えたソフトウェアによって、建設的な会話を苦手とする学習者を気楽に会話に誘いながら、次第に建設的な会話を展開できるようにすることが目指されている。杉本らは、中学校の理科でこのソフトウェアを利用した授業を実践している。授業で行われた会話や学習者による学習に対する自己評価を分析した結果、学習者らの参加意識が高まり、学習者同士の会話は建設的な会話となり得ていたとされている。

コミュニケーションに加えて、ネットワーク上における学習者同士の共同作業を支援する研究も行われている。Suthers *et al.*（1997）は、ダイアグラム作成機能とチャット機能を実装したソフトウェアの開発・利用について報告している。学習者は、仮説とデータの関係などを表現したダイアグラムをネットワーク上で作成することができる。また、チャット機能を利用して、離れた場所にいる他者と議論をすることも可能である。Suthersらは、このソフトウェアを利用した実験授業の結果として、学習者が共同して問題解決に取り組んでいたことを示している。

Sugimoto *et al.*（2003）では、前述の楠ら（2002）の研究を発展させて、ネットワークに接続できるボードゲーム型の都市設計シミュレーションを開発している。このシステムでは、離れた場所に設置した2台のセンシングボードをネットワークで接続し、一方の

シミュレーション結果が他方に影響を与えるようなバーチャルな環境を提供している。ここでは、チャット機能を利用して遠隔の学習者が相互にコミュニケーションを展開しながら、バランスのとれた都市設計を協調的に達成できるように支援している。

このほか、学習者が共同作業しながら、複数の学習者の考えを統合するためのソフトウェアに関する研究も行われている。Scardamalia & Bereiter (1991) は、“CSILE”と呼ばれるネットワークを介したデータベース型のソフトウェアに関する研究成果を報告している。CSILEは、ネットワーク上のデータベースに複数の学習者が自分の考えや実験結果を文字やグラフィックス形式で蓄積できるソフトウェアである。学習者らは、CSILEを使って、自分の考えや実験結果についてのノートを作成するとともに、他の学習者が作成したノートを閲覧したり、他者のノートに質問や反論などのコメントを付け加えたり、そのコメントに回答したりすることを通して学習を進めていく。さらにCSILEには、複数の学習者の考えや実験結果を統合できるような機能も実装されている。Scardamalia & Bereiter は、CSILEを利用した第5・6学年の「人間の進化」や「石油の消費」に関する学習において、学習者が他者からのコメントを有効に活用することで学習の成果を得ていたと報告している。

竹中ら (2002) は、CSILEの後継ソフトウェアである“Web Knowledge Forum”を利用した小学校の理科授業について報告している。その中で、竹中らは、学習者が学習支援の道具としてソフトウェアの有効性を評価していたことを明らかにしている。さらには、学習者がお互いのノートにコメントを付け合うという知識構築活動が授業の中で実現できたことも見出している。

以上、社会的領域に関連するCSCL研究事例を示してきた。これらの研究では、学習者が他者と議論したり共同作業したりすることを支援するため、ソフトウェアに対して特徴的な機能が実装される傾向にある。例えば、Webページから集めた証拠を整理して主張を組み立てるためのソフトウェアや、発言を促すためのリード文が準備されたソフトウェア、ネットワーク上で2つの地点のシミュレーション結果を相互作用させるためのソフトウェア、学習者の考えや実験結果を蓄積・統合するためのデータベース型ソフトウェアなどである。ソフトウェアの有効性については、議論の質を向上させたり、学習者一人ひとりの知識の統合を支援したりできることが明らかにされている。

1.5. 科学教育におけるCSCL研究の現状と課題

1.5.1. 現状

本章では、科学教育におけるCSCL研究の現状を明らかにしてきた。1.3.では、国内外の科学教育研究誌の分析を通して、科学教育の領域内部においてCSCLに関する研究が展開されている現状を明らかにした。分析の結果、海外の国際的な科学教育研究誌については、90年代後半からCSCLの論文が数多く掲載されており、その傾向は2000年以降さらに増加していたことがわかった。また、国内では海外の動向に遅れつつも、2000年以降にCSCLの論文が次第に掲載されるようになってきたこともわかった。これらの結果から、90年代前半において学際的な研究分野として誕生したCSCLは、90年代後半に入ると科学教育研究の領域内部でも展開されるようになっており、今後さらに活発に発展していく可能性が示唆された。

1.4.では、科学教育におけるCSCLの個々の研究事例を概念的領域に関連する研究、認識論的領域に関連する研究、社会的領域に関連する研究という3つに類型化し、それらの領域ごとに研究の特徴を検討してきた。概念的領域に関連する研究では、学習者が所有する知識や学習者に学ばせたい知識をコンピュータ上で「見える」ようにする、つまり、可視化のための支援が目指されていた。こうした支援の有効性については、個々の学習者が他者と協力して科学的な探究を行う中で、学習前の素朴概念を転換したり、内容理解を深めたりできることが明らかにされていた。

認識論的領域では、科学的な探究を遂行する際に必要不可欠となる情報検索、実験の仮説・計画・結果のモニタリングといった活動をコンピュータが支援すること、すなわち、探究方法の支援が目指されていた。探究方法の支援の有効性については、情報検索能力の向上や、自己の理解や探究活動に対するモニタリングを促進できることが見出されていた。

社会的領域では、学習者がコンピュータを利用して議論構築することや、学習者同士がコミュニケーションしたり共同作業したりすることの支援が目指されていた。こうしたコミュニケーションや共同作業支援の有効性については、学習者同士が行うコミュニケーションの質の向上や、複数の学習者による知識の統合を実現できるということが、実際の授業実践を通して示されていた。

1.5.2. 課題

CSCL研究の課題については、次の3点を挙げるができる。第一に、「国内における

CSCL研究事例の蓄積」, 第二には「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」, 第三には「コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」である。

まず, 第一の課題は, 「国内におけるCSCL研究事例の蓄積」である。1.3. で検討してきたように, 国内の科学教育におけるCSCL研究は着手されたばかりであった。科学教育におけるCSCL研究の意義が認められつつあり, 今後の研究の発展が期待されている現状を踏まえると, 国内の科学教育においてCSCL研究をより活発に展開することが求められていると考えられる。具体的には, 概念的・認識論的・社会的という3つの領域ごとに, 新しいソフトウェアの開発・評価研究, CSCLソフトウェアを現実の授業場面で利用した教育実践研究の実施が必要である。

第二の課題は, 「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」である。1.4. で検討してきたように, 科学教育のCSCL研究は, 概念的・認識論的・社会的という3つの領域ごとに, 可視化支援, 探究方法支援, コミュニケーション・共同作業支援という方向で様々な研究が行われていた。前述したように, これら3つの領域ごとに研究を展開することが必要であるが, それと併せて, 3つの領域を統合して議論することも必要であると考えられる。

もともと, 概念的・認識論的・社会的領域というのは, 科学の学習のある側面を切り出すために設定された分類枠組みである。ところが, 学校の授業の現実では, これらの領域が複雑に絡み合いながら成立している。したがって, 概念的・認識論的・社会的領域ごとの知見を踏まえた上で, これらの領域を統合した議論が必要になってくる。これは, CSCL研究がその研究課題でもある「実践としての教育」に貢献するためにも必要である。実際のところ, 最近になって, 3つの領域を包含するような研究が, 海外において少しずつ着手され始めている。例えば, LinnらのWISEプロジェクト(Linn & Hsi, 2000; Linn *et al.*, 2004), GomezらのLeTUSプロジェクト(LeTUS Project, 2004)である。これらのプロジェクトでは, 概念的・認識論的・社会的領域を明確に示した研究手法を採用しているわけではないが, ある特定のソフトウェアを利用した授業の中で, 結果的に3つの領域の支援についてアプローチしている。これらのプロジェクトで推進されているようなアプローチを取り入れた研究を積極的に実施し, 統合的な議論を進めることが課題である。

第三の課題は, 「コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」である。CSCLを取り巻く学際的な研究分野では, この原則的な知見

は「デザイン原則」と一般的に呼ばれており、その解明が研究分野の主要なテーマとなっている（三宅・白水，2003；大島，2004）。科学教育の研究分野においても、科学の授業に関わるデザイン原則を導き出せば、少数の授業のレベルを越えて、より幅広い多数の授業におけるコンピュータ利用や協調学習の計画・実施・改善に対して寄与できると考えられる。

これらの課題のうち、第三のものが最も重要であると考えられる。CSCLの研究課題は「実践としての教育」であり、教育実践そのものの改善に貢献できるような知見を導き出すことが使命だからである。それとともに、科学教育研究という研究分野が科学の授業の改善に対する寄与を第一義的な目的に設定しているからである。

しかしながら、デザイン原則の解明については、今後、さらに研究を進めていかなければならない。デザイン原則を解明するためには、要因統制という従来の研究方法を脱却し、デザイン実験（Brown, 1992；Collins, 1992）という新しい研究方法を採用することが要求される。隣接学問領域の学習科学では、このデザイン実験は、学習の諸問題を取り扱う有力な研究方法として一定の評価を得てきている（Collins *et al.*, 2004；三宅・白水，2003；大島，2004）。

デザイン実験では、授業には非常に多くの要因が制御不可能な状態で混沌として存在しているという認識の基に、単独の要因に着目して厳密な統制を行うのではなく、必要と思われる複数の変数を同時に取り扱う。デザイン実験を採用する研究の特徴は、教師と研究者が協力して、これまでの学習研究の知見を授業デザインに反映させながら実践を展開し、授業のデザイン原則を導き出すことである。そして、その授業の観察・分析を通してデザイン原則を吟味し、また授業をデザインするというプロセスを繰り返す。その中で、何度でも確かな成果を得ることができるデザイン原則を解明するのである。

海外の科学教育分野においても、前述のWISEプロジェクトやLeTUSプロジェクトのような先駆的なプロジェクトがデザイン実験を採用し、デザイン原則の解明に取り組み始めている。このような研究は極めて少ない状況にあるが、今後は様々な研究が自らが扱う協調学習を成立させているデザイン原則を解明する方向で、研究を進める必要があると言える。

1.6. 本研究の目的

1.5. では、科学における CSCL 研究の現状を明らかにするとともに、科学教育における CSCL 研究の課題として、(1)「国内における CSCL 研究事例の蓄積」、(2)「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」、(3)「コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」の3つを見出した。

本研究では、Knowledge Forum と呼ばれるソフトウェアを採用し、小学校の科学教育を対象とした事例研究を通して、上述した科学教育における CSCL 研究の3つの課題を追究する。そして、事例研究から得られた結果を基に、コンピュータを利用した科学教育における協調学習を支援するための学習環境のデザインについて検討することを本研究の目的とする。

Knowledge Forum は、カナダのトロント大学オンタリオ教育研究所にある IKIT (Institute for Knowledge Innovation and Technology) の Scardamalia や Bereiter らの研究グループによって開発されたソフトウェアである。本研究において、この Knowledge Forum を採用したのは、次の2つの理由によるものである。

第一に、Knowledge Forum はカナダを中心とした北米の教育現場において10年以上利用されており、CSCL 研究においてもその成果が報告されていることから、システムとしての信頼性が評価できるからである。CSCL 研究ではソフトウェアの開発・評価もなされているが、本研究の課題への取り組みは、ソフトウェアを現実の授業場面で利用した教育実践を通して事例研究を行うことによって成立する。そのため、ある程度の信頼性を持つソフトウェアを利用することが必須条件となる。

しかしながら、Knowledge Forum は、もともと英語版のソフトウェアとして作成されており、本研究での使用にあたって初めて日本語化したものである。また、北米と日本では、言語が異なることのみならず、学校教育における教室文化にも相違点がある。さらに、Knowledge Forum を日本の教育場面で利用するのは、本研究が初めての試みとなる。これらのことから、本研究では、日本語化した Knowledge Forum が、日本の小学校で利用可能なものであるかどうかを検証するための予備的な実験として、ソフトウェアの有効性についても検討している。

第二に、これまでに北米を中心として、Knowledge Forum を利用した研究の実績が、積み上げられて来ているからである。Knowledge Forum が開発されてきた背景には「知識構築共同体」の理論がある (Scardamalia & Bereiter, 1999)。Scardamalia (2002) では、教室において知識構築が決定付けられるための12の要因が導き出されているが、この

第1章 序論

要因は、本研究の課題を遂行するにあたり示唆的であると考えられる。なぜなら、過去の実績としての研究成果と本研究における事例研究の成果とを合わせて議論することは、「コンピュータを利用した科学の協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」という、本研究における第三の課題への取り組みにとって重要な作業となるからである。

以下に本研究における3つの課題に対する取り組みの方法を示す。

(1)「国内におけるCSCL研究事例の蓄積」：小学校の理科授業を対象に、Knowledge Forumを利用した実験授業を実施し、概念的領域に関する事例研究（第3章）、認識論的領域に関する事例研究（第4章）、社会的領域に関する事例研究（第5章）の3つの事例研究を試みる。

(2)「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」：概念的・認識論的・社会的領域のそれぞれの事例研究の結果を踏まえ、Knowledge Forumを利用した科学の学習について、これら3つの領域を統合した議論を結論（第6章）で示す。

(3)「コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」：1.5. で示したように、この課題は3つのうち特に重要である。本研究では、概念的・認識論的・社会的領域のそれぞれの事例研究から得られた結果を基に、コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるための授業デザインに有効な要因の提示を試みる（第6章）。

第2章 Knowledge Forum の概要と有効性検証のための予備実験

本章では、Knowledge Forum の概要について解説するとともに、その有効性を検証するために実施した予備実験について述べる。

本研究において利用する Knowledge Forum は Web 版 (Web Knowledge Forum) であり、インターネットを介して使用することができるデータベース型のソフトウェアである。インターネットを使用することによって、学習者はいつでもどこからでもデータベースにアクセスすることが可能である。カナダのトロント大学オンタリオ教育研究所にある IKIT (Institute for Knowledge Innovation and Technology) の Scardamalia や Bereiter らの研究グループによって開発されたこのソフトウェアは、CSILE (Computer Supported Intentional Learning Environments) の次世代バージョンとして改良された学習支援ソフトウェアである (Scardamalia & Bereiter, 1996 ; Scardamalia, Bereiter & Lamon, 1994 ; Scardamalia *et al.*, 1989 ; Scardamalia & Bereiter, 1994)。もともとは英語で作成されたソフトウェアであるが、日本の小学校での使用にあたり日本語化を実現した。

Knowledge Forum の学習支援ソフトウェアとしての特徴は、学習共同体に対して大きく次の2つの支援を行うものとして説明することができる。一つは学習者の知識構築活動の支援であり、もう一つは共同体の協調的な学習の支援である (稲垣ら, 2000 ; 竹中ら, 2002)。以下では、まず、それぞれの特徴について詳しく述べるとともに、Knowledge Forum の基本的な機能についての説明を行う。次に、カナダで開発され、北米を中心にその評価を得てきた Knowledge Forum が、教室文化の異なる日本の小学校で利用可能か否かを検証するために実施した予備実験について述べる。

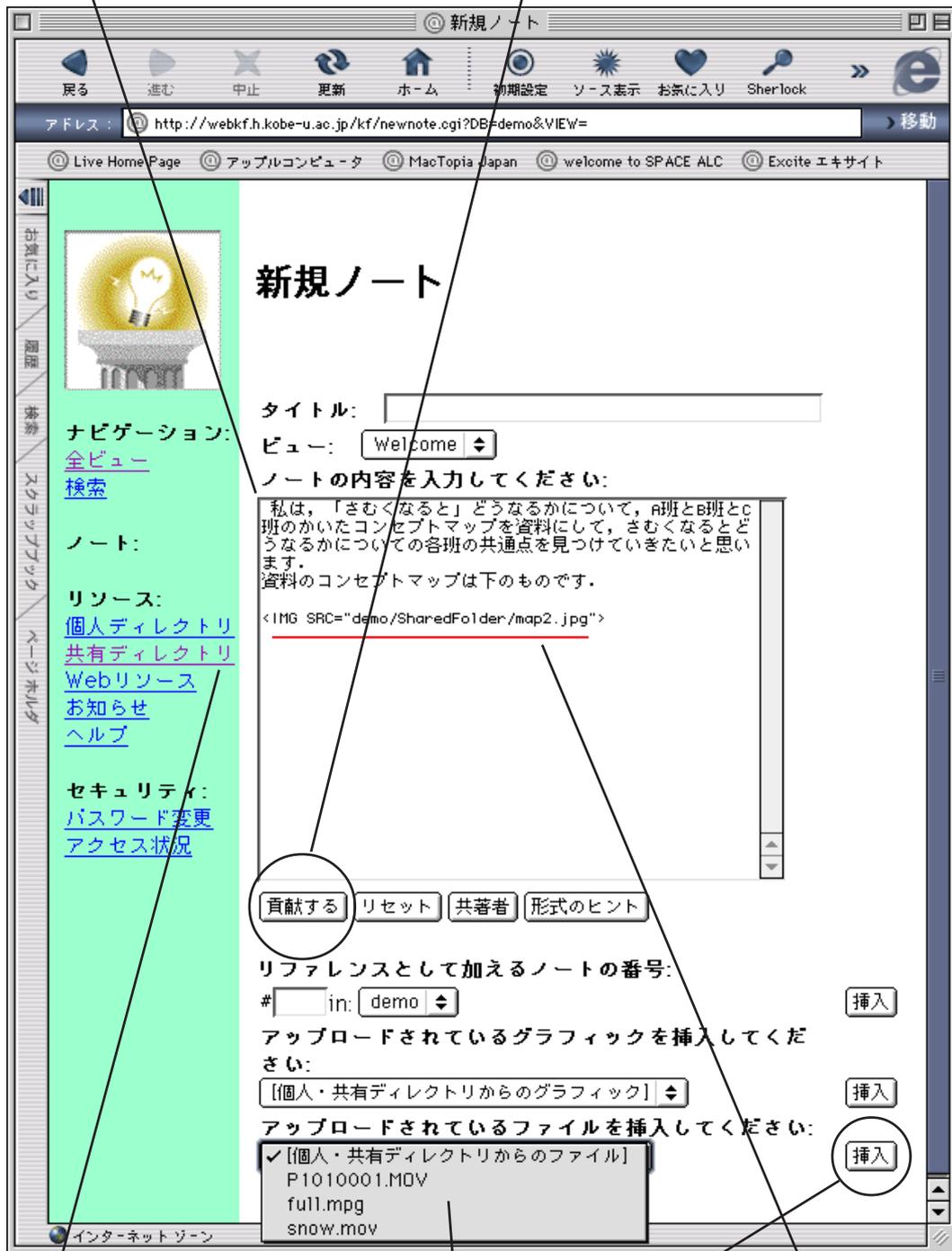
2.1. 知識構築活動の支援

知識構築活動は、学習者が Web ブラウザからインターネットを介して Knowledge Forum のデータベースにアクセスし、そこに自己のアイデアや情報を「ノート」という形式で外化し、保存・蓄積していくことを通じて行われる。

図2-1はノートの作成画面の例である。図2-1 (a) のダイアログではHTMLでの表現が

(a) このダイアログに、自己の考えや知識などを書き込んでいく。

(b) 貢献ボタンを押すことでノートがデータベースに保存される。



(c) 個人ディレクトリ、共有ディレクトリへのアクセスはここから行う。各ディレクトリへのファイルのアップロードも、これらの各ディレクトリの中で実行する。

(d) 挿入したいファイルをプルダウンメニューから選択し、挿入ボタンを押す。

(e) 挿入したファイルは、自動的にリンクが張られ、HTMLで表示される。

図 2-1 ノートの作成画面の例

可能であり、テキストだけでなく、グラフィックスやムービーなどのファイルとリンクを張ることによって、多様な表現手段が利用できるようになっている。グラフィックスなどのテキスト以外のファイルとリンクを張る際には、図2-1 (d) の「個人・共有ディレクトリからのグラフィック」、または「個人・共有ディレクトリからのファイル」からプルダウン・メニューで挿入したいファイルを選び「挿入」ボタンをクリックするだけである。そうすると、図2-1 (e) の下線で示したように、HTMLのタグが自動的にノートに挿入される仕組みになっている。

個人ディレクトリと共有ディレクトリは、他のアプリケーションを利用して作成したファイルなどをデータベース上で保管しておく場所である。個人ディレクトリには各学習者が個人で所有するファイルを、共有ディレクトリには学習共同体全体で共有するファイルを、それぞれ区別して保管することができる。共有ディレクトリにあるファイルは、データベースにアクセスできる全ての学習者が利用できる。個人ディレクトリにあるものは、ファイルの所有者だけが使用可能で他の学習者はファイルにアクセスすることはできない。所有者が「ノート」として公開した場合のみ、他の学習者はそのファイルを見ることができる。各ディレクトリへのファイルのアップロードは、図2-1 (c) から行うようになっている。

作成したノートは、図2-1 (b) の「貢献する」というボタンを押すことでデータベースに保存される。もともと英語版で「Contribute」と呼ばれているこのボタンは、データベースにノートを作成することで学習者が学習共同体の知識構築活動に参加しその活動に貢献するという意味から名付けられている。このような呼び名を付けることで、学習者の学習活動に対する責任感を高めることにつながる。そのため、日本語化にあたっては、そのまま「貢献する」と訳した。図2-2、図2-3はテキスト形式、グラフィックス形式、ムービー形式のそれぞれの表現方法で作成されたノートの一例である。

貢献されたノートはデータベース内の「ビュー」と呼ばれる領域の中に保存・蓄積される。「ビュー」とは、データベース内でフォルダのような役割を果たすものであり、学習活動の対象となるトピックや概念といった枠組みとして作成することができる。図2-4 (a) はデータベースに作成されたビューの一覧である。保存されたノートは階層的に蓄積され、図2-4 (b) のようにデータベース内でリスト状に表示される。

また、保存されたノートは再編集することが可能で、ノートの著者は自分のノートにいつでも書き足しや変更を加えることができる。さらに、自分の考えと関連があるノートについては、それが他者のノートであっても他のビューにあるノートであっても、リンクを



図 2-2 テキストとグラフィックス形式で作成されたノートの例



図 2-3 ムービー形式で作成されたノートの例

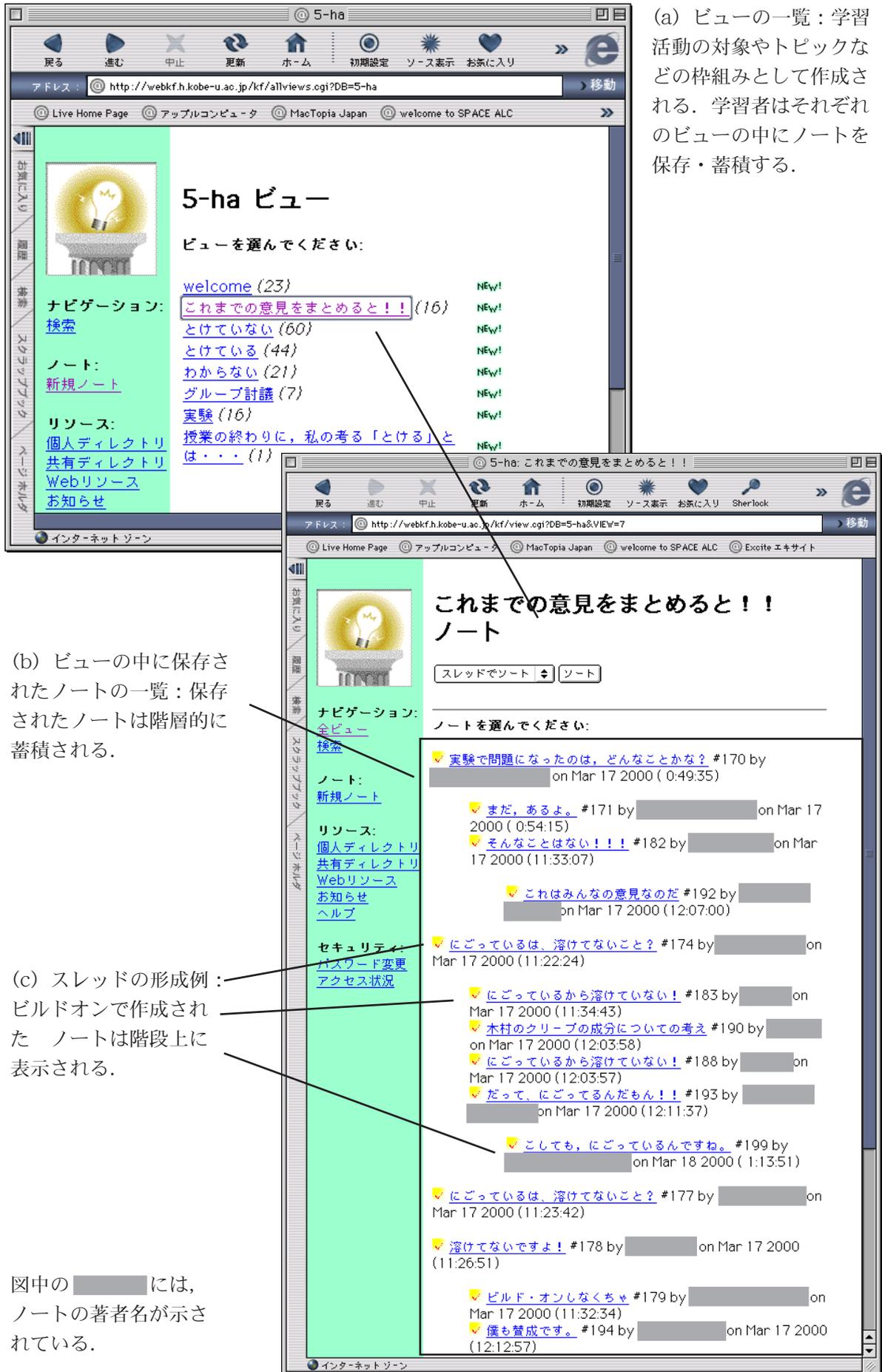


図2-4 ビューの一覧 (a) とノートの一覧 (b), およびスレッドの形成例

作成することで関連を示すことができる。

このように、Knowledge Forum は、多様な表現手段によるアイデアの外化、外化したアイデアの蓄積、再編集、アイデア間のリンクといった作業を通して、学習共同体の知識ベースを作成していくことで、学習者の知識構築活動を支援するのである。

2.2. 共同体の協調的な学習の支援

共同体の協調的な学習は、構築した知識ベースを学習者が共有することを通じて行われる。図2-5はデータベースのログイン画面である。Knowledge Forum はアカウント管理されており、学習者は各人のIDとパスワードでデータベースにログインする。アクセスを許可された学習者は誰でも、Knowledge Forum のデータベース上にある他者のノートに自由に閲覧することができる。誰がどのノートに閲覧したかという履歴は、図2-6に示すように読んだ人のリストとして表示されるようになっている。

また、Knowledge Forum では、データベース上にある他者のノートに意見したり、質問したり、他者の考えを引き継いで自分の考えを述べたりすることで、他者のアイデアと自分のアイデアとを関連付けながら学習を進めていく。「ビルド・オン」という機能を利用すると、他者のノートに対する意見や質問、他者の考えを引き継いだ自分の考えの表出の際に、ノート間の関係を視覚的に明確に示すことができる。意見や質問などを、この「ビルド・オン」機能を使ってデータベースにノートを追加すると、追加されたノートは構造化され、図2-4 (c) に示した階段状の「スレッド」として表示される。スレッドとなっている一連のノートはそこで議論が生起していることを示し、そのスレッドの連なりは議論の深まりを示す指標となる。

その他に協調学習を支援する機能として、同じ考えの学習者が協力し合ってノート作成を行える「共著者」の設定がある。この機能を用いて作成したノートでは、共著者に加えられた全ての学習者がノートを再編集できる。

Knowledge Forum は、このように学習者同士が自分たちで構築した知識ベースを共有し、互いにノートを読み合ったり、意見し合ったり、協力してノートの作成を行ったりすることで共同体の協調的な学習を支援するのである。

ここまで、学習者の知識構築活動の支援と共同体の協調的な学習の支援という、Knowl-



図 2-5 データベースのログイン画面



図 2-6 ノートを読んだ人の履歴を表示したページ

edge Forum が持つソフトウェアとしての特徴について説明してきた。2.3. では、本研究での利用にあたり日本語化したKnowledge Forumが日本の小学校で利用可能なものであるかどうかを検証するための予備実験について述べる。

2.3. 予備実験：Knowledge Forum の有効性

2.2. で示したように、Knowledge Forum の学習支援ソフトウェアとしての特徴は、学習共同体に対して、学習者の知識構築活動を支援するとともに、共同体の協調的な学習を支援するものであった。

2.3. では、このKnowledge Forumを実験的に小学校の授業に導入し、その有効性を検討する。有効性を評価する理由は、このソフトウェアを日本の小学校で利用するのは、本研究が初めての試みとなるからである。そもそもカナダで開発され北米を中心にその評価を得てきたソフトウェアを、教室文化の異なる日本の小学校で利用することが可能なのであろうか。また、その利用は学習者にとって有益なものとなり得るのだろうか。これらのことを明らかにするのが、2.3. の目的である。

有効性の評価は、次の2つの観点で行った。1つは、Knowledge Forumが日本の小学校の授業において利用可能なものであるかどうかという観点からの評価である。2つ目は、Knowledge Forumを利用することによる、授業における学習者同士のコミュニケーション形態への影響に関する評価である。

2.3.1. 予備実験の概要：「生命のつながり」

(1) 実験授業の概要

予備実験は、兵庫県内の国立大学附属小学校の5年生の1クラス（40人）を対象に、理科の生物分野「生命のつながり」で実施された。期間は、1999年11月26日から12月14日までの計10時間であった。Knowledge Forumの使用は、授業時間中だけでなく、休み時間や放課後などにも行われた。予備実験におけるKnowledge Forumの導入時期は単元の終盤であった。Knowledge Forumを利用して行なう活動の目的は、単元中に作成した紙ベースの「動物図鑑」をデジタル化しデータベースにすることであった。

単元は、以下のような流れで行われた。「動物について調べよう」というのが単元全体の目標であり、そのために、まず、子どもたちは、動物をとらえる大きな枠組みを学習した。

例えば、「動物ってなに?」といった問いを深めて、「こん虫は動物?」、「魚は動物ではなくて魚類?」、「動物って卵で生まれない?」、「動物はハ虫類とは違う?」、「動物は自分で動ける?」、「動物はえさを食べて動く?」などの内容について学習した。そして、各自が関心を持った「こだわりの動物」について調べながら、「動物図鑑」を作成した。最後に完成した個人ごとの「動物図鑑」を、Knowledge Forum 上でデジタル化し、クラスで1冊の「5年〇組動物図鑑」をデータベースに作り上げた。

Knowledge Forum に準備されたビューは、「ヒョウ」、「ゾウ」、「ピューマ」、「ヘビ」、「ウナギ」など40種類の動物ごとのビュー、図鑑の編集方法を議論する「図鑑編集会議」ビュー、データベースの管理やKnowledge Forumの利用方法支援などを行なった学習支援者らの「自己紹介」のビューの計42であった。

(2) Knowledge Forum 利用環境

Knowledge Forumのデータベースへの書き込みは、コンピュータールームで実施された。コンピュータールームには教室の4方の壁に沿って机が配置され、各机に2台の割合でコンピュータが設置されている(図2-7)。コンピュータの台数は計26台で、2人に1台の割合で利用した。

2.3.2. Knowledge Forum の利用可能性に関する評価の方法

Knowledge Forumを利用することが、学習者にとって有益であったかどうかを調査し、小学校の授業における利用可能性を明らかにする。

予備実験の授業の最後に、Knowledge Forumを利用した学習に対する評価として、質問紙を用いた調査を実施した。質問紙調査の対象は、実験授業を実施したクラス40人中、欠席者を除いた37名であった。

質問紙の調査項目は、(1)「コンピュータ操作に関する評価」、(2)「Knowledge Forumの学習ツールとしての評価」、(3)「Knowledge Forumを利用した学習活動の評価」の大きく3つのカテゴリに基づいて作成した。

コンピュータ操作に関する評価では、コンピュータ操作能力とKnowledge Forumの使用感について調査した。Knowledge Forumの学習ツールとしての評価では、子どもたちがKnowledge Forumを有益と感じているかどうかを調査した。Knowledge Forumを利用した学習活動の評価では、効力感や情意について調査した。質問は全部で18項目で、

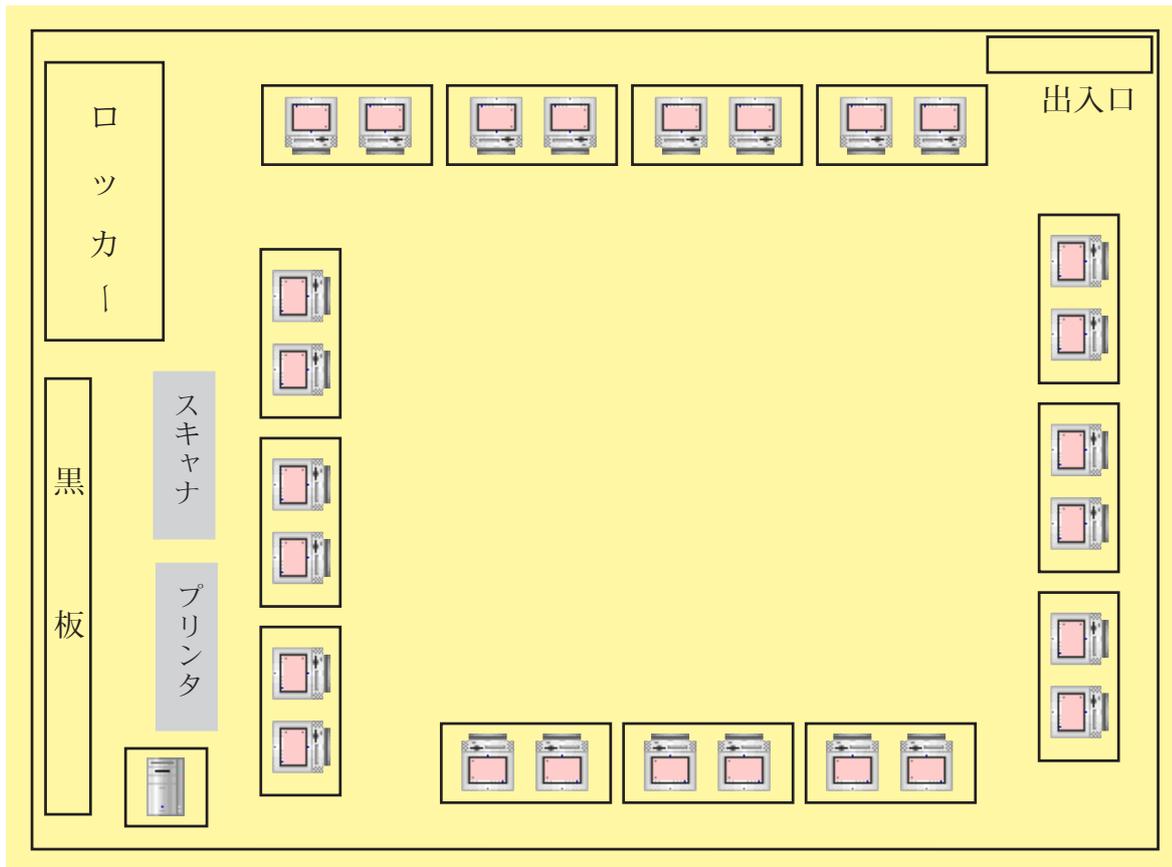


図 2-7 コンピュータルームの見取り図

回答は4段階尺度評定法（かなりそう思う，ややそう思う，あまりそう思わない，全くそう思わない）で求めた。

2.3.3. Knowledge Forum の利用可能性に関する結果・考察

(1) コンピュータ操作に関する評価

本研究で使用したKnowledge Forumを，道具の一つとして学習環境の中に取り入れる際，その使用の難易度が考慮されるべきであることから，子どもたちのコンピュータ操作能力と実際に使用した際のKnowledge Forumの使用感について調査した。

表2-1には，その結果を示している。「コンピュータで文字を打つのはとくいだ」では，かなりそう思うと答えた子どもが3人，ややそう思うが14人，あまりそう思わないが9人，まったくそう思わないが11人で，全回答人数37人のうち「かなりそう思う」と「ややそう思う」を合わせた肯定的評価をした子どもが17人，「あまりそう思わない」，「まったくそう思わない」を合わせた否定的評価をした子どもが20人であった。「コンピュータの操作はとくいだ」では，肯定的評価が26人，否定的評価が11人であった。「ナリッジ・フォーラムの使い方は簡単だ」では，肯定的評価が29人，否定的評価が8人であった。

上述の結果から，コンピュータ操作に関しては，6割が「コンピュータの操作はとくいだ」という肯定的評価を示したものの，文字入力に関しては半数強が否定的であったことが示された。しかし，約8割の子どもたちが，Knowledge Forumの使用に際して，その操作は簡単であると答えていたことがわかった。

以上のことから，コンピュータ操作や文字入力といったコンピュータを扱う上での基本操作能力の差に関わらず，Knowledge Forumを使用し学習を行うことが可能であると推察することができる。

(2) Knowledge Forum の学習ツールとしての評価

表2-2には，Knowledge Forumの学習ツールとしての評価の結果を示している。

「ナリッジ・フォーラムは授業で役に立つ」では，肯定的評価が36人，否定的評価が1人であった。「他の授業でもナリッジ・フォーラムを使ってみたい」では，肯定的評価が35人，否定的評価が2人であった。

上述の結果から，子どもたちのKnowledge Forumに対する評価は非常に肯定的で，子どもたちにとって有益な学習ツールになり得ることが推測できる。

表 2-1 コンピュータ操作に関する評価

	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	まったく そう思わない
コンピュータで 文字を打つのはとくいだ	3	14	9	11
コンピュータの 操作はとくいだ	9	17	8	3
ナリッジ・フォーラムの 使い方は簡単だ	15	14	8	0

単位は人.

表 2-2 Knowledge Forum の学習ツールとしての評価

	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	まったく そう思わない
ナリッジ・フォーラムは 授業で役に立つ	25	11	0	1
他の授業でも ナリッジ・フォーラムを 使ってみたい	28	7	1	1

単位は人.

(3) Knowledge Forum を利用した学習活動の評価

Knowledge Forum を利用した学習では、大きく分けて、自分が調べたことをノートに「書く活動」と、他者のノートを「読む活動」がある。これらの活動に関して、(a)「効力感についての評価」、(b)「情意についての評価」の2つの観点から評価を行った。

(a) 効力感についての評価

書く活動と読む活動のそれぞれが、学習者にとって有益であったかどうかを調査した。

表2-3には、効力感についての評価の結果を示している。

「調べたことをノートに書くのはためになる」では、肯定的評価が35人、肯定的評価が2人であった。「友だちのノートを読むのはためになる」では、肯定的評価が34人、否定的評価が3人であった。「友だちからもらった意見はためになる」では、肯定的評価が36人、肯定的評価が1人であった。「友だちからもらった意見に返事を出すのは自分のためになる」では、肯定的評価が30人、肯定的評価が7人であった。「いろいろなビューでやり取りされている友だち同士の意見を読むことはためになる」では、肯定的評価が33人、肯定的評価が4人であった。「一度読んだノートを読み返してみるのはためになる」については、肯定的評価が24人、肯定的評価が13人であった。

(b) 情意についての評価

書く活動と読む活動について、学習者が楽しいと感じているかどうかを調査した。

表2-4には、情意についての評価の結果を示している。

「調べたことをノートに書くのは楽しい」では、肯定的評価が34人、肯定的評価が3人であった。「友達の図鑑（ビュー）や図鑑編集会議（ビュー）に意見を書くことは楽しい」では、37人全員が肯定的評価であった。「友だちのノートを読むのは楽しい」では、肯定的評価が36人、否定的評価が1人であった。「友だちからもらった意見を読むのは楽しい」では、37人全員が肯定的評価であった。「友だちからもらった意見に返事を出すのは楽しい」では、肯定的評価が33人、否定的評価が4人であった。「いろいろなビューでやり取りされている友だち同士の意見を読むことは楽しい」では、肯定的評価が32人、否定的評価が5人であった。「一度読んだノートを読み返してみるのは楽しい」については、肯定的評価が19人、否定的評価が18人であった。

表 2-3 Knowledge Forum を使用した学習活動の評価：
効力感についての評価

	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	まったく そう思わない
調べたことをノートに 書くのはためになる	18	17	2	0
友だちのノートを 読むのはためになる	19	15	3	0
友だちからもらった 意見はためになる	25	11	1	0
友だちからもらった 意見に返事を出すのは 自分のためになる	17	13	7	0
いろいろなビューで やり取りされている 友だち同士の意見を 読むことはためになる	10	23	4	0
一度読んだノートを 読み返してみるのは はためになる	7	17	11	2

単位は人.

表2-4 Knowledge Forum を使用した学習活動の評価：
情意についての評価

	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	まったく そう思わない
調べたことをノートに 書くのは楽しい	19	15	3	0
友達の図鑑（ビュー）や 図鑑編集会議（ビュー）に 意見を書くことは楽しい	30	7	0	0
友だちのノートを 読むのは楽しい	24	12	1	0
友だちからもらった 意見を読むのは楽しい	20	9	0	0
友だちからもらった意見に 返事を出すのは楽しい	18	15	4	0
いろいろなビューで やり取りされている 友だち同士の意見を 読むことは楽しい	20	12	5	0
一度読んだノートを 読み返してみるのは 楽しい	7	12	16	2

単位は人。

以上の、(a)「効力感についての評価」と(b)「情意についての評価」の結果は、次の2つにまとめることができる。一つは、「書く活動」と、一度読んだノートの再読活動を除く「読む活動」では、効力感・情意ともに、概ね肯定的評価が得られた。もう一つは、再読活動についてであるが、効力感では6割の子どもが「役に立つ」と回答しているものの、4割が有益とは感じておらず、情意ではほぼ半分が「楽しいとは思わない」と評価していた。上述の結果から、Knowledge Forumを使用した学習活動は、「書く活動」と、再読活動を除いた「読む活動」の両方で概ねその効力が評価され、また、同様に「書く活動」と再読活動を除いた「読む活動」で、子どもたちは概ね楽しいと感じていたことがわかった。これらのことから、Knowledge Forumを小学校の授業において利用することは十分に可能であり、また、その道具の使用が学習効果の向上を促す可能性があるかと推察できる。

2.3.4. 学習者同士のコミュニケーション形態に関する評価の方法

Knowledge Forumを利用した学習活動では、Knowledge Forumでのオンライン上の会話と、教室での対面状況におけるオフライン上での会話という2つのコミュニケーション形態がある。そこで、以降では、これらの関係を明らかにし、Knowledge Forumの利用が学習者同士のコミュニケーション形態に与える影響について検討する。

評価は、次の2つの観点から実施した。

(1) オンライン上での会話の実態

Knowledge Forumを利用した学習で、オンライン上の会話がどのように生起しているかを調査するために、質問紙による調査を実施した。質問紙調査は対象クラス40人中、欠席者を除いた37名に対し行なった。調査項目は4項目で、普段の学校生活での友だちとの会話とオンライン上での会話の関係について評価させる内容である。

(2) オフライン上での会話とオンライン上での会話の関係

まず、調査用紙に、教室での対面状況において、学習内容についてよく会話をした相手の名前を1人から8人までの間で任意の人数記載させ、それぞれの相手とどれくらい話したか、2段階尺度評定法（よく話した、少し話した）で回答を求めた。

次に、子どもたちがオフライン上で話した相手、オフライン上では話さなかった相手のそれぞれについて、Knowledge Forumのオンライン上でどれくらい会話しているか、調査用紙とデータベースのノート作成数を照らし合わせて検討した。

2.3.5. 学習者同士のコミュニケーション形態に関する結果・考察

(1) オンライン上での会話の実態

表2-5には、オンライン上での会話の実態調査の結果を示している。

「あまり話さない友だちのノートもたくさん読んだ」では、37人のうち28人が肯定的評価、9人が否定的評価であった。「あまり話さない友だちにもたくさん意見を書いた」では、26人が肯定的評価、11人が否定的評価であった。「あまり話さない友だちからもたくさん意見をもらった」では、24人が肯定的評価、13人が否定的評価であった。「ナリッジ・フォーラムで意見をくれた友だちとその意見について直接よく話した」では、26人が肯定的評価、11人が否定的評価であった。

以上のことから、「あまり話さない友だちのノートもたくさん読んだ」、「あまり話さない友だちにもたくさん意見を書いた」では、クラスの4分の3の子どもたちが普段の学校生活で会話をする機会が少ない友だちとコミュニケーションを図ろうとしていたことがわかった。「あまり話さない友だちからもたくさん意見をもらった」でも、クラスの6割が肯定的評価をしていることから、普段の学校生活で会話をする機会が少ない友だちとのコミュニケーションが生起していたことがわかった。また、「ナリッジ・フォーラムで意見をくれた友だちとその意見について直接よく話した」では、クラスの7割以上が、Knowledge Forum上の自分のノートに対して意見をくれた友だちと、学習の内容について直接話す機会を持ったことが明らかになった。

これらの結果から、Knowledge Forumを用いた学習活動においては、子どもたちの普段の学校生活とは異なる会話の形態が生起していたことが推察される。

(2) オフライン上での会話とオンライン上での会話の関係

Knowledge Forumを利用した学習期間中に、子どもたちが作成したノートは合計で564であった。そのうち、自分以外の他者に対する意見やコメントとして作成されたノートは300であった。図2-8には、オフライン上とオンライン上の会話の関係について、調査の結果を示している。対面状況のオフライン上で「よく話した」相手に対して、Knowledge Forumのオンライン上で送信したノートは、300のノートのうち62であった。オフライン上で「少し話した」相手に対して送信したノートは69であった。残りの169のノートについては、オフライン上での会話はなかったが、オンライン上のノートを活用した会話が成

表 2-5 オフライン上とオンライン上の会話の関係

	かなり そう思う	やや そう思う	あまり そう思わない	まったく そう思わない
あまり話さない 友だちのノートも たくさん読んだ	10	18	8	1
あまり話さない 友だちにも たくさん意見を書いた	11	15	11	0
あまり話さない 友だちからも たくさん意見をもらった	11	13	11	2
ナリッジ・フォーラムで 意見をくれた友だちと その意見について 直接よく話した	10	16	9	2

単位は人.

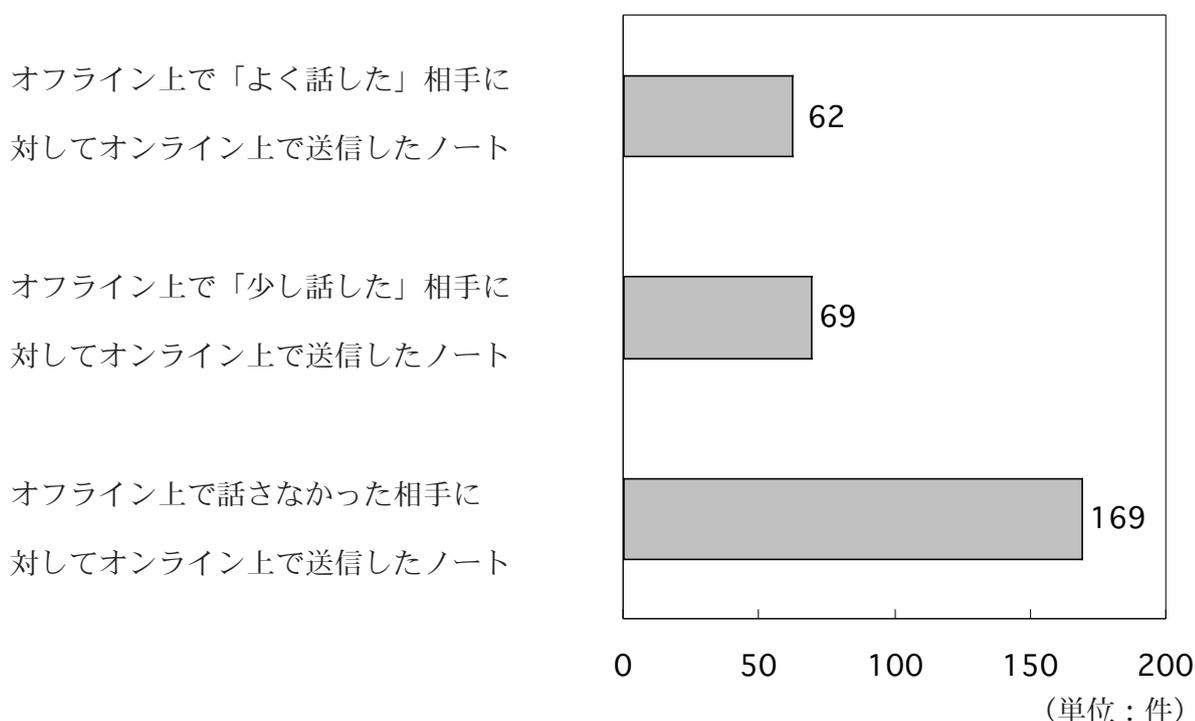


図 2-8 オフライン上での会話とオンライン上での会話の関係

立したものと見ることができる。

これらの結果から、Knowledge Forum を利用した学習環境においては、対面状況で学習内容について話をした学習者同士だけでなく、話をする機会がなかった学習者同士でも、Knowledge Forum 上で会話できていたことが示された。

2.4. 総括

本章では、Knowledge Forum の学習支援ソフトウェアとしての特徴である、学習者の知識構築活動の支援と共同体の協調的な学習の支援について解説した。また、Knowledge Forum を実験的に小学校の授業に導入し、その利用可能性と学習者同士のコミュニケーション形態に与える影響を明らかにすることで、有効性を検討してきた。

利用可能性に関して、「コンピュータ操作に関する評価」からは、コンピュータの基本操作能力における差に関わらず、Knowledge Forum を使用して学習を行えることがわかった。「Knowledge Forum の学習ツールとしての評価」からは、子どもたちが Knowledge Forum を学習ツールとして有益なものであると感じていることがわかった。「Knowledge Forum を使用した学習活動の評価」からは、Knowledge Forum を実際に使ってみて「ためになった」と評価している子どもが多く、効力感に関する評価は肯定的であることが示された。また、「楽しかった」かどうかについての情意に関する評価でも、ほとんどの子どもたちが肯定的であった。とりわけ、「友達の図鑑（ビュー）や図鑑編集会議（ビュー）に意見を書くことは楽しい」、「友だちからもらった意見を読むのは楽しい」については、全員が楽しいと感じていた。これらのことから、Knowledge Forum を小学校の授業で利用することは十分に可能であり、また、その使用が学習効果の向上を促す可能性を推察できる。

学習者同士のコミュニケーション形態への影響に関する分析の結果から、Knowledge Forum 上で、子どもたちは普段あまり話さない友だちともコミュニケーションを行っていたことが示された。また、対面状況で学習内容について話をした学習者同士だけでなく、話をする機会がなかった学習者同士でも、Knowledge Forum 上で会話できていたことが示された。これらのことから、Knowledge Forum を用いた学習活動において、対面状況とは異なる会話の形態が生起していたことが明らかになった。こうした学習者同士の新たなコミュニケーション形態が学習場面に付加されることは、学習共同体における活動を拡

張するものであり、その有効性が示唆されたと言える。

以上に示してきたように、Knowledge Forum の利用は、北米とは教室文化の異なる日本の学習環境においても利用可能なものであり、学習者にとって有益なものとなり得ることが明らかになった。次章以降の第3章、第4章、第5章では、この Knowledge Forum を利用した「概念的・認識論的・社会的領域」の3つの領域を扱った事例研究について検討していく。

第3章 実験1：概念的領域に関する事例研究 —アナロジーに基づく理解深化—

本章では、概念的領域に関する事例研究について検討する。概念的領域とは、Duschl (2003) が示した科学の教授・学習研究における3つの領域の一つであり、「科学的な推論に必要とされる概念構造や認知過程」に関する領域で、この領域に関連するのは、学習内容についての概念転換や理解深化に焦点を当てた研究である。

本章で実施した実験授業は、Knowledge Forum 上のヒトに関する知識ベースを学習者に作成させた後、この既習事項の知識ベースを利用させることで新規の学習内容である「ヒト以外の動物の発生と成長」についてのアナロジーを誘発し、その結果としてヒト以外の動物の発生・成長に関する理解の深化を目指したものである。

この実験授業では、Knowledge Forum のシステム・デザインを工夫することで、学習者のアナロジーを誘発するための学習環境を開発している。実験授業は、小学校理科の生物分野「動物の発生と成長」で実施された。開発した学習環境は、学習者が未知の内容について学習を展開する際に、彼／彼女らが内的に獲得している知識に加えて、Knowledge Forum 上に外化された既習事項の知識ベースを利用できるようにするものである。実験授業の評価では、Knowledge Forum 上の既習事項の知識ベースの利用が、ヒト以外の動物の発生と成長に関する学習者の概念変化に寄与していたかどうかについて検討する。

3.1. 概念的領域に関する事例研究の問題の所在

未知の事象を理解するときに、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や誤った概念の獲得を促進してしまう場合があるというものである (Champagne *et al.*, 1985; Cosgrove & Osborne, 1985; Duit, 1991; Glynn, Duit & Thiele, 1996)。それ故に、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 (Teaching with-Analogy) 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 & Johsua, 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行え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踏襲しつつ、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。第2章で示したように、Knowledge Forum では、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・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。

このような特性を有するKnowledge Forum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できると期待される。

ではまず、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Knowledge Forum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・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、Knowledge Forum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、自己の情報・アイデアを外化することに加えて、他者の情報・アイデアを読むことができる。Knowledge Forumに関するこれまでの研究では、他者の情報・アイデアを読むことが、自己の情報・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.*, in press)。これらの先行研究の結果を踏まえると、学習者全員でKnowledge Forum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。

次に、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。Knowledge Forum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。さらには、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つのドメインが並置されて、その並置の関係が可視化されたデータベースに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章の試みが、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。

そこで本章では、Knowledge Forumを利用することで、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を支援できるか否かという課題について検討することを目的とし、小学校5年生の理科授業を対象にした事例研究を行う。以下では、まず、Knowledge Forumを利用した実験授業を計画・実施した経過について示す。次に、概念変化をもたらすアナロジーという観点から、Knowledge Forumのシステム特性を最大限に発揮できる

ように、そのシステム・デザインを工夫したことについて示す。そして、実験授業の評価を通して、「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」を支援できていたかどうか検討する。

3.2. 実験授業の概要：「動物の発生と成長」

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、理科の生物分野に関する「動物の発生と成長」で実施された。実施期間は2001年5月31日から7月18日までで、通常の単元配当時間とコンピュータの時間を合わせた計39時間であった。単元目標は、(1)「母体内におけるヒトの発生と成長に関して理解する」、(2)「ヒトと他の動物を比較し、発生と成長の共通点・相違点を理解する」であった。

表3-1には単元の展開とKnowledge Forum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させ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、子どもたちは、「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班（1班は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Knowledge Forumのノートに書いた。調査がある程度終了すると、今度は、調査結果をまとめた（13～16時間目）。ここでは、自分たちのこれまでの調査結果ノートや、必要に応じて他班の調査結果ノートを読みながら、調査結果のまとめを班で協力して作成した。最後に、各班がクラス

表3-1 単元の展開と Knowledge Forum の利用

ヒトに関する 学習時間目	内容	Knowledge Forum の利用
1～3	学習課題の設定	
4～12	班別の調査	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 まとめのノートを書く
15～23	発表とクラス全体のまとめ	
ヒト以外の動物に 関する学習時間目	内容	Knowledge Forum の利用
23・24	学習課題の設定	
25～31	班別の調査	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	

全体に対して調査結果を発表し、ヒトの発生・成長についてクラス全体でまとめた（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種類の動物を班ごとに分担し、それらの発生と成長について、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（25～31時間目）。同時に、調査結果を Knowledge Forum のノートに書いた。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、各班が担当した動物に関する調査結果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、担当動物について、調査結果のまとめを作成した。最後に、各班の発表を行い、ヒト以外の動物の発生・成長についてクラス全体でまとめた（35～39時間目）。

なお、コンピュータは、子ども1人が1台を利用できる環境であったため、基本的には、一人ひとりが個別に Knowledge Forum を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班単位で実施されていたので、同じ班の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。

3.3. Knowledge Forum のシステム・デザインの工夫

本章の実験授業では、「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く。つまり、本章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。

本章で工夫した Knowledge Forum のシステム・デザインを説明する。本章では、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、Knowledge Forum のシステム・デザインを工夫した。図3-1は、複数のビューへのリンクを構造的に配置したクリッカブルマップを示している。クリッカブル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。クリッカブルマップの左側には、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3-1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することが可能である。前述のように、単元の後半において、学習者は9種類の動物を9つの班で分担して調査した。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についてや相互関係についてはまだ明らかになっていない。しかし、ヒトについては学習が終了しており、器官や現象の有無についてや相互関係について明確になっている。こうした状況において、図3-1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、例えば、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、本章におけるKnowledge Forumのシステム・デザインでは、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付けて、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アクセスできるよう工夫している。

3.4. アナロジーに基づく理解深化の分析

3.4.1. 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」を支援できていたかどうかについて検討することである。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。

わたしたちのいのちのはじまり

ナビゲーション:
[検索](#)
 ノート:
[新規ノート](#)
 管理:
[ノート情報集計](#)
[ビュー読者履歴](#)
[アカウント編集](#)
[ビュー編集](#)
[お知らせ作成](#)
 リソース:
[個人ディレクトリ](#)
[共有ディレクトリ](#)
[Webリソース](#)
[お知らせ](#)
[ヘルプ](#)
 セキュリティ:
[パスワード変更](#)
[アクセス状況](#)

ヒトの赤ちゃんの命のはじまりの図

性交 → 受精 → 1ヶ月 → 2ヶ月 → 3ヶ月 → 4ヶ月 → 5ヶ月 → 6ヶ月 → 7ヶ月 → 8ヶ月 → 9ヶ月 → 10ヶ月 → 誕生

精巣 → 精子 → 受精卵 → おなかの中の赤ちゃんのようす → 赤ちゃん

卵巣 → 卵子 → 受精卵

子宮 → へそのお → 羊水

●「ヒトのいのちのはじまり」のまとめ

発展課題
 ヒトと他の動物の誕生までを比べよう

ホニュウ類 3班 ねずみのなかま	鳥類 5班 にわとり
4班 メダカ 魚類 7班 それ以外の魚のなかま	その他 1班 昆虫
2班 イモリ 両生類 6班 カエル	貝のなかま 8班 ウニ 9班

●「動物のいのちのはじまり」のまとめ

★クリックابلマップ(↑)の「青い文字の部分」をクリックすると、それぞれのビューにリンクします。

図3-1 ドメインを併置した KnowledgeForum のシステム・デザイン

(2) 学習者によるマッピング：Knowledge Forum上で、学習者自身が行った「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。

3.4.2. 方法

(1) 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、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。

(2) 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、Knowledge Forumのサーバ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、単元後半の最終時間に自分の班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、子宮、へそのお、羊水、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して図を作成した。

後者のアクセスログは、Knowledge Forumのサーバに自動的に蓄積されるもので、そのログデータからは、ある学習者がどのノートにいつアクセスしたかという情報を得ることができる。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。

(3) 分析の手続き

(a) 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。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、(ii)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。

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、性交の段階に「精巣」「卵巣」「精子」「卵子」、受精の段階に「受精卵」、受精から誕生までの間に「子宮」「へそのお」「羊水」、誕生の段階に「赤ちゃん」をそれぞれ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3-1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3人で行い、評価が不一致の場合は協議の上で一致させた。

(b) 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、自分の班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。この学習前に作成した図と、学習後に作成した図の2種類について、次の2つの観点から分析した。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、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。

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した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、この分析観点に基づいて、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3人で行い、評価が不一致の場合は協議の上で一致させた。

3.4.3. 結果・考察1：全体分析

(1) ベースドメインに対する十分な理解

表3-2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3-2について 1×3 の χ^2 検定を行ったところ、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。

(2) 学習者によるマッピング

表3-3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、学習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3-3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言える。

表3-4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、Knowledge Forum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・アイデアの外化である。3.1.の問題の所在に述べたように、外化という活動には、情報・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、素朴概念の変化を誘発していたと推察できる。

表3-2 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3-3 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3-4 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. ** $p < .01$

3.4.4. 結果・考察2：事例分析

3.4.3.では、学習前に素朴概念を所有していた学習者は、Knowledge Forum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、Knowledge Forum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。

これらの結果のうち、「高い概念変化を起こしていた学習者は、Knowledge Forum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、Knowledge Forum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章の関心からすると、特に注目できる。したがって、3.4.4.では、1つの事例を取り上げて、Knowledge Forum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班（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・B・C・Dの班を対象としたのは、この班では子ども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、ベースドメインとターゲットドメインの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。3.2.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「班別の調査」においては、子どもたちはヒト以外の動物に関して調べたことをノートに書く活動が中心であった。32～34時間目は、まとめのノートを書く際に、これまで調べたことを書き溜めたヒト以外の動物に関するノートとともに、ヒトに関するノートも読む活動を設定することで、ベースドメインとターゲットドメインの間のマッピングが行われるような授業が計画・実施された。以上の理由から、子どもA・B・C・DのKnowledge Forumのログデータを分析することで、子どもA・B・C・Dの班が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に行っていた学習プロセスについて検討する事例を作成した。

子どもA・B・C・Dの素朴概念については、胎生動物と卵生動物の共通点である「性交」に関しては「カエルは性交しない」という素朴概念を、差異点である「子宮」に関しては「カエルには子宮がある」という素朴概念を4人全員がそれぞれ所有していた。これらの素

朴概念が、学習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・B・C・Dは、1人ないしは2人に分かれて、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。Knowledge Forum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の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を4人全員で書く段階であった。

図3-2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、Knowledge Forum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。

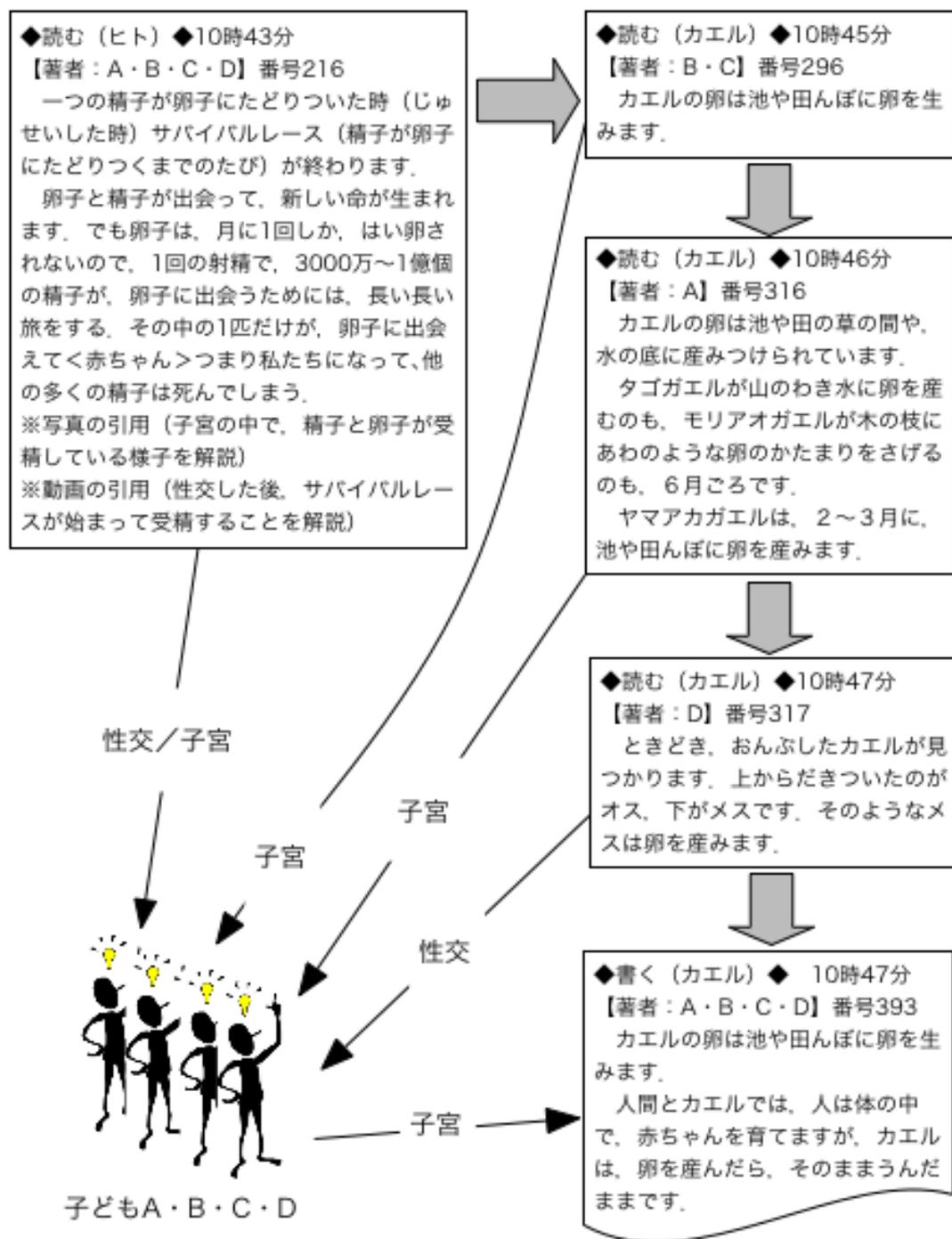


図3-2 子どもA・B・C・Dのノートを読み書きと概念変化

四角い枠で囲まれているのは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。

Knowledge Forum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。

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であったと推察できる。

3.5. 総括

本章では、Knowledge Forum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を支援できるか否かというという課題について検討するために、Knowledge Forumのシステム・デザインの工夫、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。

Knowledge Forumのシステム・デザインの工夫については、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年生の理科「動物の発生と成長」を対象として、単元全体にわたってKnowledge Forum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、Knowledge Forum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班の事例からも、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Knowledge Forumは、そのシステム・デザイン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を支援できると結論することができる。

もちろん、本章は小学校5年生の理科の生物分野を対象とした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、本章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。なぜなら、従来の研究では、「アナロジーを通じた学習者の概念変化」は6割しか実現されていなかった。しかし、本章の実験授業では、Knowledge Forumを利用して、ヒト以外の動物について学習前に素朴概念を所有していた子どもすべてを、科学的に妥当な概念へと変化させることに成功していた。この本章の結果は、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。

第4章 実験2：認識論的領域に関する事例研究 —知識構築型の情報検索—

第3章では、Duschl (2003) が示した科学の教授・学習研究における3つの領域である「概念的・認識論的・社会的領域」のうちの概念的領域に関する事例研究として、Knowledge Forum システム・デザインを工夫することで、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を支援できるか否かというという課題について検討してきた。

本章では、認識論的領域に関する事例研究について検討する。認識論的領域は、「科学的探究の方法を発展させたり、評価したりする際に必要とされる認識論的枠組み」に関する領域で、この領域に位置づけられる研究は、科学的な探究の方法や技能を扱ったものである。

そこで、本章においては、科学的な探究の方法に関する情報検索に焦点を当て、Knowledge Forum を小学校の理科授業に導入した2つの実験授業を実施し、学習者らの情報検索の支援を試みた。第1章で述べたように、情報検索は、科学的な探究活動を遂行する際に必要不可欠な要素の一つである。

本章で実施した2つの実験授業では、情報検索を支援する目的で授業デザインを修正し、評価では、その修正が子どもたち知識構築型の情報検索にもたらした変化について検討する。知識構築型の情報検索というのは、他者の情報を消費するだけの一方的な情報検索ではなく、他者の情報を利用するとともに、自己の情報も提供するという双方向的な情報検索である。Knowledge Forum が提供する学習環境において、学習者は、Knowledge Forum のデータベースに提供された情報を利用できると同時に、自己の情報を提供することができる。

4.1. 認識論的領域に関する事例研究の問題の所在

科学教育において学習者が取り組んでいる課題を解決する際に、必要な情報を適切に取得するための情報検索は、科学的な探究の重要な要素である。CSCLにおいても、こうした情報検索をコンピュータで支援する研究が展開されてきている (Hoffman *et al.*, 2003 ; Petrosino *et al.*, 1997など)。

Petrosino *et al.* (1997) では、学習者らが利用するインターネットのリソースである

Webサイトを整理し、URLやサイトの説明をデータベースとして蓄積するとともに、学習コミュニティ内で共有することができるソフトウェアを開発している。このソフトウェアを利用することで、膨大なインターネット上の情報から有益なものを学習者自身に上手くデータベース化させることができる。また、Hoffman *et al.* (2003) では、デジタル・ライブラリに収められた情報の検索を支援するソフトウェアが開発されている。Hoffmanらは、こうしたソフトウェアを利用して科学教育における学習者の適切な情報検索を支援することができれば、科学的な探究能力を育成することにつながると議論している。

Petrosino *et al.* (1997) や Hoffman *et al.* (2003) の研究では、検索用ソフトウェアを開発して、学習者がインターネットやデジタル・ライブラリの情報を有効に検索できるよう支援している。また、検索用ソフトウェアの利用は、学習者の情報検索の支援に有効であることも示されている。しかしながら、これらの研究で明らかにされてきたのは、情報消費型の一方向な情報検索の支援に関する有効性である。実際の授業においては、インターネットやデジタル・ライブラリなど不特定多数の他者情報から必要なものを選択するという活動がある一方で、他者の情報を利用するとともに、自己の情報も提供するという双方向的な活動もある。

そこで、本章では、CSCLシステムである Knowledge Forum を小学校の理科授業に導入することで、他者が提供した情報を利用するとともに、自己の情報も提供する知識構築型の情報検索に関する支援を試みる。実験授業では、知識構築型の情報検索に関連する4つの変数を扱った授業デザインを行う。4つの変数は、「科学的な探究活動の方法」、「他者の知識の参照を必要とする活動の設定」、「学習履歴の表現方法」、「学習履歴の活用方法」である。「科学的な探究活動の方法」は、学習者に彼／彼女らが学習を通して蓄積してきた情報を検索して活用させるための支援に関する変数であり、学習者が取り組む探究活動の形態を工夫することで支援が実現される。「他者の知識の参照を必要とする活動の設定」は、学習者に他者の情報を検索して活用させることを促すための変数であり、他者が提示した情報の利用が必要となるような活動を意図的に設定することで支援が実現される。「学習履歴の表現方法」と「学習履歴の活用方法」は、学習者自身が向かおうとしている方向を常に認識し、そのために必要な活動や必要な情報が何であるのかを意識させるための支援に関する変数であり、取り組んでいる課題や取り組みの目的を学習者に明確に示すことによって支援が実現される。

こうした知識構築型の情報検索に関連する変数が、学習者の情報検索をいかに支援でき

るのかについて検討するために、本章では2つの実験授業を実施する。2つの実験授業では、前述の4つの変数に関して授業デザインの修正を行う。これらの2つの実験授業に関する評価では、Knowledge Forumに蓄積されたノートの分析を通して、情報検索を支援するための授業デザインの修正が、子どもたちの知識構築型の情報検索にもたらした変化について、情報利用と情報提供という2つの側面から検討する。

4.2. 2つの実験授業の概要

4.2.1. 実験授業4-1：「物の燃え方と空気」

1つ目の実験授業4-1は、兵庫県内の国立大学附属小学校6年生の1クラス（41人）を対象に、理科の化学分野に関する「物の燃え方と空気」で実施された。実施期間は2000年5月18日から7月11日までで、通常の単元配当時間とコンピュータの時間を合わせた計42時間であった。単元目標は、(1)「燃焼には空気中の酸素が必要であることを理解する」、(2)「酸素が空気中に残っていても燃焼が止まることについて、燃焼が止まることと空気との関係を自分の言葉で説明することができる」であった。

単元の構成は、次の通りである。子どもたちは、まず、教師が行った2つの演示実験を観察した。最初の演示実験は、束にした新聞紙と丸めた新聞紙を燃やし、どちらがよく燃えるかを予測・観察するものであった。次は、集気ビンの中に火のついたろうそくを入れて蓋をすると、ろうそくの炎がそのうちに消えていくという演示実験であった。この2つの演示実験を観察した後、子どもたちは、「なぜ集気ビンの中のろうそくの炎が消えたのか」について、一人ひとり仮説を立てモデル図を作成した。

次に仮説の中から、同じ意見の子どもが集まり11の仮説別に班を編成した。11の仮説は、「酸素が少なくなった（ちいさくなった）」、「酸素が少なくなった（大きさそのまま）」、「酸素が少なくなり二酸化炭素が増えた（粒状）」、「酸素がなくなり二酸化炭素が増えた（粒状）」、「酸素がなくなり二酸化炭素が増えた（もや状）」、「空気（の中の燃える成分）がなくなった」、「空気の流れ」、「酸素が減って二酸化炭素が増えた（窒素省略）」、「酸素が減って二酸化炭素が増えた（窒素あり）」、「窒素・酸素がなくなり二酸化炭素だらけになった」、「空気が減って二酸化炭素が増量する」であった。子どもたちは、それぞれの仮説検証実験を班ごとに遂行し、実験結果から「仮説の見直し—モデル図の修正—新たな仮説立て—検証実験」という作業を3回繰り返した。このように、「物の燃え方と空気」の実験授業では、

仮説検証を通じた燃焼理論の構築を中心として探究活動を設定した。

実験授業4-1において、子どもたちは、Knowledge Forumに仮説検証のための実験計画・予想・結果・考察・新たな仮説を記録していった。この仮説検証を通じた燃焼理論の構築を支援するために、Knowledge Forumのトップページに配置したクリックブルマップ（図4-1）では、11の仮説を構造的に配置した。

また、この実験授業4-1では、Knowledge Forumを授業のポートフォリオとしても利用した。ポートフォリオとしての利用のために新たにカスタマイズしたのが、図4-2に示した学習履歴の表示機能である。図4-2(a)のログイン画面から、子どもたちがKnowledge Forumにアクセスすると、図4-2(b)に示した「私たちの研究日誌」という学習履歴を記録したページが、データベースのトップページの表示と同時にサブウィンドウで現れる。この「私たちの研究日誌」は、毎時の研究課題と活動内容を時系列で示したものである。活動内容は、テキストによる学習活動の記録と、授業中に実施した教師の演示実験や子どもたちが実施した仮説検証実験をダイジェスト版に編集したムービーなどで構成されている。ムービー画面の例は、図4-2(c)に示している。

「私たちの研究日誌」を見ることで、子どもたちはいつでも授業の流れをふりかえることができる。また、教師の演示実験を繰り返し見ることで、燃焼現象について思考するためのリソースとしてムービーを活用することができる。さらに、自分たちの実験のムービーをもう一度見ることや他班の実験のムービーを見ることで、仮説の見直しや仮説検証実験を計画する際の参考にすることができる。この実験授業において「私たちの研究日誌」は、子どもたちが各自必要なときに使用するものとして学習活動の中に位置付けた。

4.2.2. 実験授業4-2：「水溶液の性質」

2つ目の実験授業4-2は、「物の燃え方と空気」を実施したのと同じ6年生の1クラスで、人数は42人を対象に、理科の化学分野に関する「水溶液の性質」で実施された。実施期間は2000年11月7日から2001年3月14日までで、通常の単元配当時間とコンピュータの時間を合わせた計43時間であった。単元目標は、(1)「水溶液の酸性・中性・アルカリ性の性質を理解する」、(2)「水溶液には金属を溶かすものがあることがわかる」であった。

この単元では、単元目標を達成し、かつ、子どもたち自身が課題を見出して、それを追究していくという調査探究を中心とした授業を展開した。また、実験授業4-1では行わなかった他者のノートを読むなど、他者の知識の参照が必要となる活動を意図的に設定した。

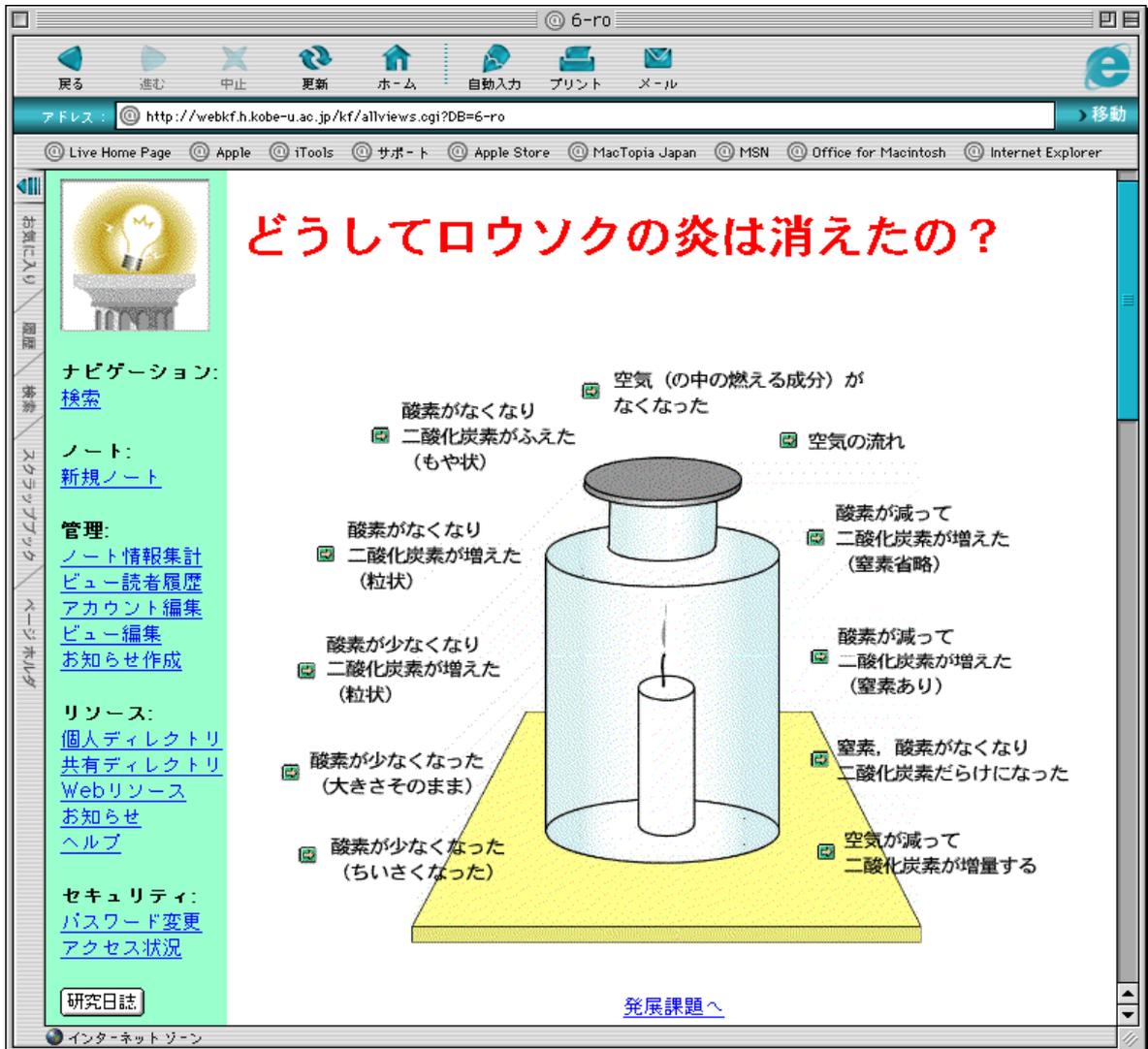


図4-1 実験授業4-1：「物の燃え方と空気」のクリックابلマップ

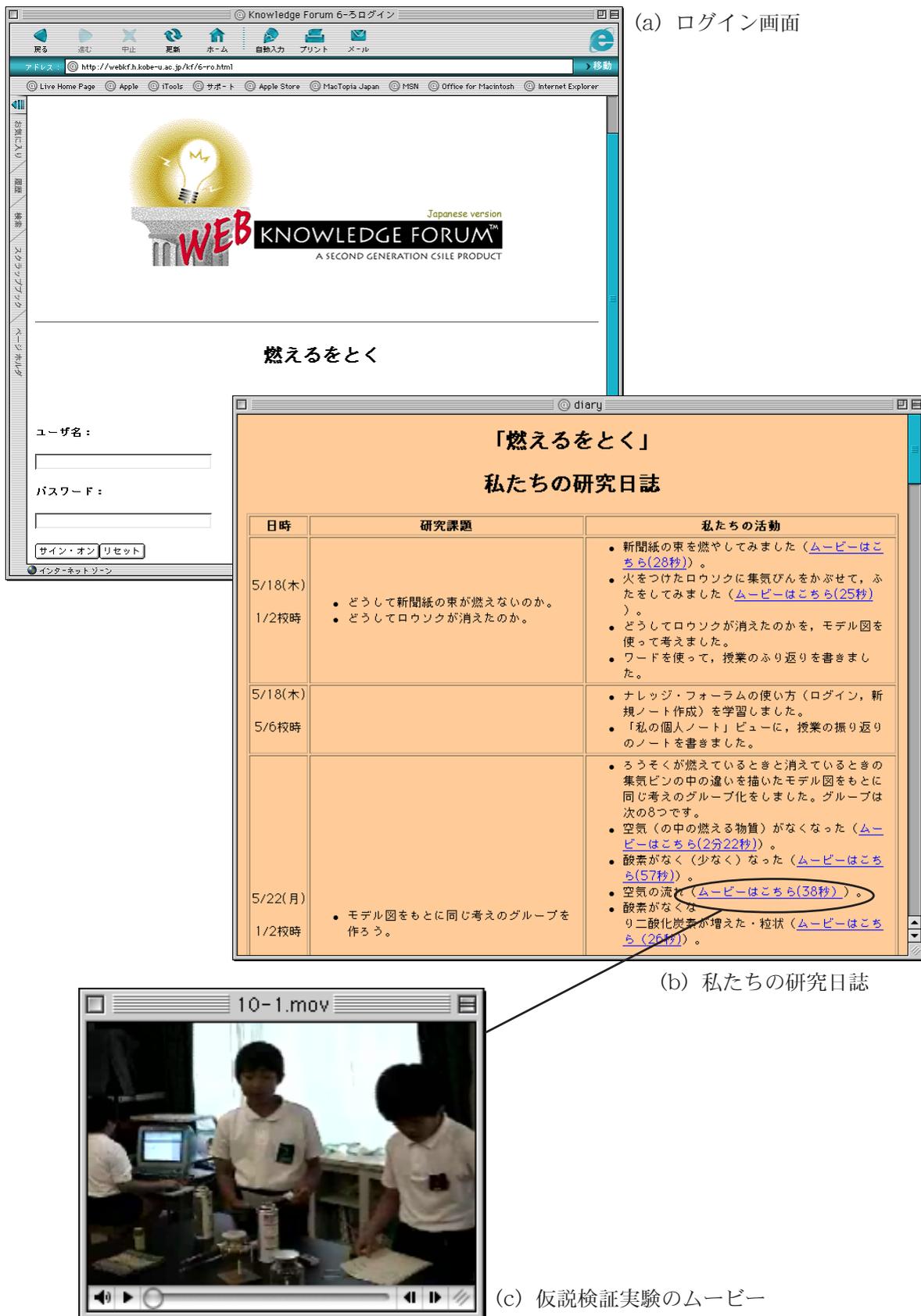


図 4-2 実験授業 4-1：ログイン画面と学習履歴

授業の前半では、子どもたちは、まず、教師の「酸性雨ってどんなもの？」という問いに対し、知っていること思い付くことを発表し、それを基に酸性雨についてのコンセプトマップを作成した。コンセプトマップは、酸性雨の原因、被害、影響、特徴、性質といった項目に分類・整理された。次に、整理された項目の中から酸性雨の性質である「酸性雨は非常に酸性の強い雨である」こと、「BTB溶液で調べると黄色になること」が実際にどのようなことなのか、「酸性とはいったいどんな性質なのか」を知るために、教師が準備した5種類の無色透明の水溶液（塩酸、ほう酸水溶液、食塩水、炭酸水、水酸化ナトリウム水溶液）について、アルミニウム、BTB溶液、リトマス試験紙を用いて班ごとに調べた。この実験を通して、子どもたちは、水溶液には酸性・中性・アルカリ性という性質があるということ、酸性の水溶液は金属を溶かす性質があることなど、酸性・中性・アルカリ性の水溶液の性質について基礎的な学習をした。そして、飲み物や液体漂白剤など身近な水溶液が酸性なのか中性なのかアルカリ性なのかを調査し、Knowledge Forumにその結果を報告した。調査にはリトマス試験紙とpHメーターを用いた。

授業の後半では、まず、Knowledge Forumに書かれた調査結果のノートを読んで、身近な水溶液で酸性の商品のラベルに「弱酸性」という記載があることや、身近な水溶液のpH値には違いがあることなどをクラスで話し合った。次に、酸性度やアルカリ度が非常に高いものは人体に危険なものが多いことや、飲み物など人間が口にできるものの値には決まった幅がありそうなことなどから、調査結果をクラス独自のpHスケールとしてまとめる課題を見出した。pHスケールづくりでは、0から14までのpH値のうち、まだ身近な水溶液が見つからない値について水溶液を探す班、人間が口にできる水溶液のpH値をより詳しく調査する班、このスケールを使って身近な水溶液には危険なものがあることを他のクラスや学年に知らせるための計画を立てる班などに分かれて活動した。これらの活動が終了し、クラスのpHスケールができ上がった後、最後に、酸性雨の原因、被害、影響、特徴、性質について班ごとに詳しく調べ、その情報をクラスのpHスケールに関連付けるという活動に取り組んだ。

このように、実験授業4-2では、水溶液の性質に関する基礎的知識の獲得と併せて、子どもたち自身が課題を見出してそれを追究していく調査探究を中心とした授業を展開した。また、それらの課題は、Knowledge Forumのノートを読むことから見出されるように工夫した。

Knowledge Forumは、この実験授業4-2で、子どもたちが身近な水溶液の性質に関する

る調査結果を書き込んだり、pHスケールづくりのための調査結果を記録をしたり、他班への情報提供の呼びかけを行ったり、酸性雨調査の記録をしたりするのに用いられた。pHスケールづくりでは、上述の身近な水溶液の性質に関する調査結果やpHスケールづくりのための調査結果など、Knowledge Forumに他者が既に提供している情報を十分活用するように促した。

この実験授業4-2における子どもたちの調査探究的な活動を支援するために、実験授業4-1と同様に、Knowledge Forumのデータベースにクリックابلマップを配置しビューの構造化を行うとともに、実験授業4-2では、授業の流れに沿ってクリックابلマップを随時更新していった(図4-3)。というのは、実験授業4-2は、酸性雨についてのブレインストーミングからはじまり、水溶液の基本的な性質の学習、その知識を拡張する活動、さらには、もう一度酸性雨に戻り、その被害や影響について調査するなど、非常に多岐にわたる活動構成になっていたからである。授業の流れに沿ったクリックابلマップの更新は、子どもたちが学習の進行と活動との関連を見失わないようにするためであった。

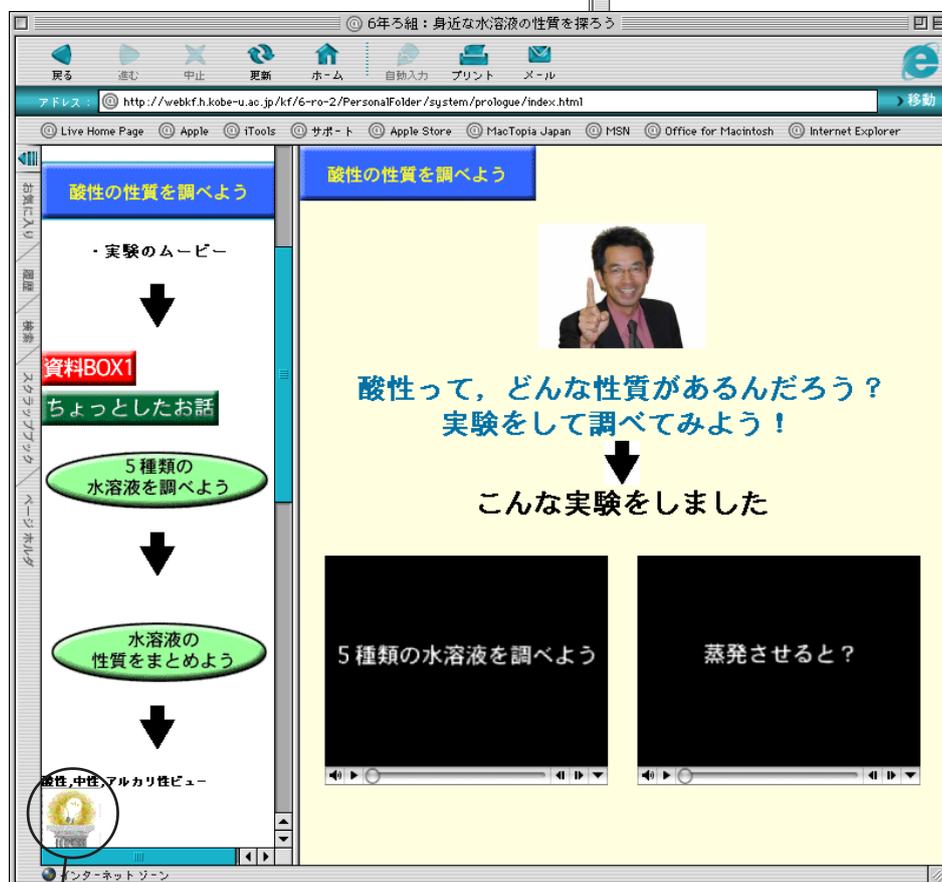
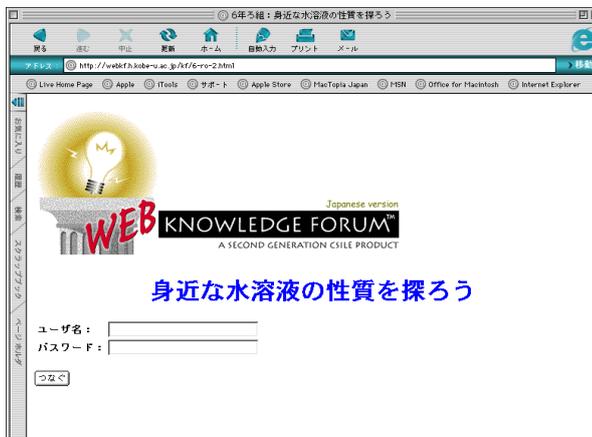
授業のポートフォリオ作成においても、学習の進行と活動との関係確認を支援するために工夫を行った。授業履歴は、実験授業4-1でサブウィンドウを使って表示していたが、実験授業4-2ではKnowledge Forumとホームページを一体化させる方法を取り入れた。図4-4(a)と(b)に示したように、子どもたちがデータベースにログインするとまず学習履歴ホームページが表示される。ホームページは左右の2つのフレームで構成されており、左フレームでは単元全体の流れをキーコンセプトとして表現した。このように、単元全体の流れを視覚的に明示することで、子どもたちの学習に関する共通理解の促進を目指した。左フレームのキーコンセプトのそれぞれはリンクボタンになっており、クリックすると詳細な学習内容が右フレームに表示されるようになっている。学習内容は、テキスト、グラフィックス、ムービなどを使って表現されている。Knowledge Forumのデータベースへは、左フレームにあるKnowledge Forumのイメージ写真を採用した図4-4(c)のリンクボタンをクリックすることでアクセスできる。Knowledge Forumへのリンクボタンは、学習に合わせて更新したクリックابلマップに随時アクセスできるよう、クリックابلマップを更新するごとに追加した。授業全体では、合計3枚のクリックابلにアクセスできるようになっている。

実験授業4-2では、学習履歴ホームページを毎時間の授業のはじめにプロジェクターでスクリーンに映し出し、教師が中心となってこれまでの学習をふりかえることと、これか



図4-3 実験授業4-2：「水溶液の性質」で使用した3枚のクリックابلマップ

(a) ログイン画面



(b) 学習履歴ホームページ

(c) データベースへのリンクボタン

図4-4 実験授業4-2：ログイン画面と学習履歴ホームページ

らの学習方針をクラス全体で把握するという活動に利用した。

4.3. 知識構築型の情報検索に関する分析

4.3.1. 目的

分析にあたって、まず、本章の2つの実験授業で行った授業デザインの修正についてまとめておく。実験授業4-1と実験授業4-2では、次の4点について情報検索を支援するための授業デザインを変更した。

(1) 科学的な探究活動の方法：授業実験4-1では仮説検証が中心であったが、実験授業4-2では調査探究を中心とした活動を採用した。

(2) 他者の情報の参照が必要となる活動の設定：実験授業4-2で、Knowledge Forumに蓄積されたノートを読んでクラス全体で話し合いをしたり、クラス共通の課題に対して各班が分担で作業を行ったりするなど、他者の情報の参照が必要となる活動を意図的にデザインした。

(3) 学習履歴の表現方法：授業実験4-1においては、サブウィンドウを使って表示させていた。また、テキスト形式で毎時間の学習の様子を時系列にまとめ、その中に実験のムービーをリンクさせていた。授業実験4-2では、データベースと学習履歴のホームページを一体化させることで、ログイン後は必ず学習履歴のホームページにアクセスするようにした。ホームページでは、授業全体の流れを容易に把握できるよう工夫し、グラフィックスやムービーも直接ホームページ上で見られるようにした。授業実験4-2では、子どもたちは学習履歴のページから、Knowledge Forumにアクセスするようになっている。

(4) 学習履歴の活用方法：授業実験4-1では子どもたちが必要なときに学習履歴を各自で見えるようにしていたのに対し、授業実験4-2では毎時間の授業のはじめにプロジェクターで投影しながら、クラス全体で前時までのふりかえりと今後の学習方針の確認活動を行うようにした。

2つの実験授業を評価する目的は、上述の実験授業4-1と実験授業4-2における情報検索支援に関する授業デザインの修正が、子どもたちの知識構築型の情報検索にどのような変化をもたらしたのかについて、情報利用と情報提供の2つの側面から明らかにすることであった。情報利用については、子どもたちがKnowledge Forumにノートを作成する際に、既存のノートを利用してそれに関連する情報を付け加えることができていたか評価した。情

報提供については、ノートを作成する際に、自分のノートの情報は他者にも共有されるものであるということ意識できていたかどうかについて評価した。

4.3.2. 方法

(1) 分析対象

実験授業4-1と実験授業4-2で、子どもたちによってKnowledge Forumに作成されたノートであった。

(2) 分析手続き

(a) ノートの分類

Knowledge Forumに作成されたノートは、図4-5 (a) に示した「シングルノート」と (b) に示した「スレッドノート」に分類することができる。これらのノートは、学習者が新たな情報を書く際に利用される。スレッドノートは (c) に示した「ビルドオンノート」を伴って、階段上に表示されるという特徴がある。ビルドオンノートとは、データベース上に既に提供されている既存のノートに対して情報を付け加える際に用いられるものである。

上述のノートの種類に則して、実験授業4-1と実験授業4-2のそれぞれについて、Knowledge Forum上のノートを分類した。さらに、これらの3つのノートに関して、シングルノートは単体のノートという意味で「シングル」、スレッドノートはビルドオンノートと合計して一連のノートという意味で「スレッド」とした。

(b) ノートの内容評価

次に、(a)で分類した「シングル」と「スレッド」について、それぞれのノートの内容を「non-cognitive」、「cognitive」、「socially-cognitive」という3段階の基準で評定した。表4-1には評価基準とノート例を示している。non-cognitiveは授業内容に直接関係ない内容のノート、cognitiveは授業内容に関係した発言が見られるが、他者とそれを共有しさらに深い理解を求めようとする意図が明確には見られない内容のノート、socially-cognitiveは授業内容に対して言及してあり、さらに他者とそれを共有し深い理解を構築しようとする意図が見られる内容のノートであった。

表4-1の例では、non-cognitiveには、「三角や、四角で図が表されていたので、分かりやすかった」や「もっと図形を大きくすると見やすいので今度からそうすると、良いです

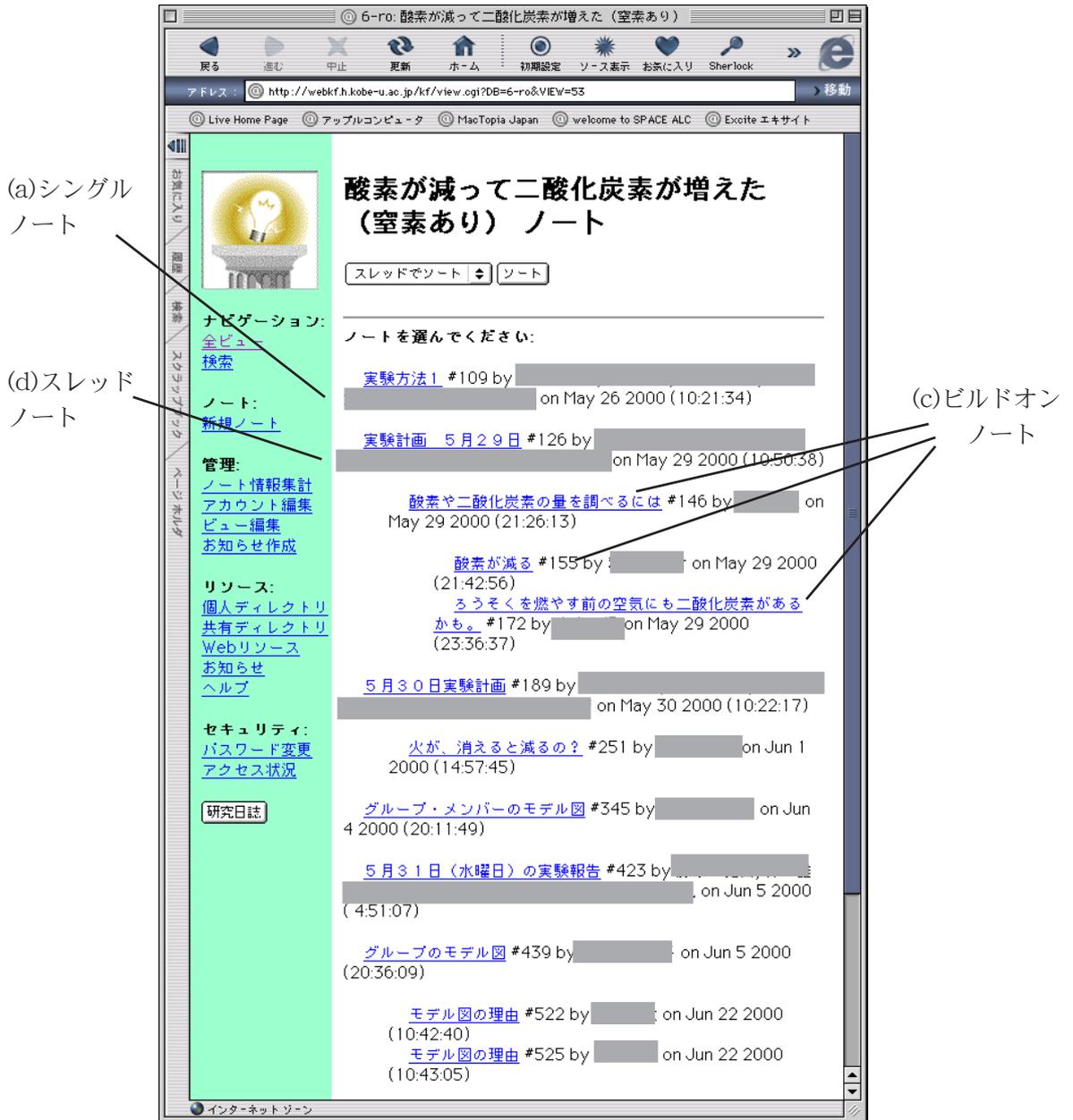


図 4-5 ノートの種類と表示例

表4-1 評価基準とノート例

「non-cognitive」
授業内容には直接関係のない内容のノート

このノートを読んで思ったことは、三角や、四角で図が表されていたので、分かりやすかったことと、説明もついていたので読みやすかったことです。後、アドバイスになるのだけど、もっと図形を大きくすると見やすいので今度からそうすると、良いですよ。

「cognitive」
授業内容に関係した発言が見られるが、他者とそれを共有しさらに深い理解を求めようとする意図が明確には見られない内容のノート

実験目的

空気の中の物質の量は少ない・多い

実験方法

- 1) → 2本のびんの中にちっ素と酸素をいれる
- 2) ↓ すばやく火についているろうそくを入れふたをして燃え方を見る
↓ → ・水を満たした集気びんを水中に立ててふたをとる
・7～8分目まで気体を入れふたをして取り出す

「socially-cognitive」
授業内容に対して言及してあり、さらに他者とそれを共有し深い理解を構築しようとする意図が見られる内容のノート

仮説の理由

- (1) 5月31日、3・4時間目の実験で、酸素は燃える前、20.5%含まれていた。燃えた後、酸素は、15.7%含まれていた。この結果から、酸素が減っていることが分かった。
- (2) 5月31日、3・4時間目の実験で、二酸化炭素は燃える前、0.11%含まれていた。燃えた後、二酸化炭素は、1.0%以上含まれていた。この結果から、二酸化炭素が増えたことが分かった。
- (3) 6月2日の実験から、二酸化炭素は集気ビンのふたを外しても集気ビンに入れたらろうそくの火が消えてしまったこの結果から、二酸化炭素は、空気よりも重いことが分かった。
- (4) 6月2日の実験から、窒素は、集気ビンに入れるとろうそくの火は、消えてしまったのに、集気ビンのふたを開けると、集気ビンの上の方ではろうそくの火がついていた。この結果から、窒素は空気より軽いことが分かった。
- (5) 6月2日の実験から、酸素の空気との重さの差は分からなかった。

よ」など、ノートの記事方法に対する感想や意見が書かれているだけで、授業内容とは関係のないコメントである。cognitiveでは、実験の目的や方法は書かれているものの、他者に自分たちの実験がどのような仮説に基づき何を明らかにするためなのかを明確に伝える情報が欠けており、自分たちの実験メモとしての役割しか果たさない内容となっている。socially-cognitiveの例は、自分たちの仮説や実験がどのような理由に基づいているのかという情報を明確に示すことができている。

上記の評価基準に従い、ノートの内容に関する評価は独立した2者で実施し、一致しなかったものについては2者間の協議で決定した。

4.3.3. 結果・考察

(1) 実験授業4-1：「物の燃え方と空気」の結果と考察

実験授業4-1でKnowledge Forumのデータベースに作成されたノートは計92であった。表4-2には、92のノートの内訳を整理している。シングルノートは60、スレッドノートは21、ビルドオンノートは11であった。スレッドノートよりもビルドオンノートの数が少ないのは、次の理由によるものである。実験授業4-1において、教師は子どもたちに学習に関するアドバイスを目的で、データベースにノートを作成した。教師のノートは、アドバイスという性質からビルドオンノートで作成されたが、本分析の対象にしていなかったためである。シングルノート単体だけのシングルは60、スレッドノートとビルドオンノートを合計したスレッドは32であった。上述の結果から、子どもたちがノートを作成する際に、データベースの既存のノートに関連する情報を付け加えたビルドオンノートは、全体の1割程度であったことがわかった。

表4-3には、シングルとスレッドそれぞれのノートの内容に関する評価の結果を示している。2者で評価を行った結果は次の通りである(一致率72%)。シングルについては、non-cognitiveが0、cognitiveが35、socially-cognitiveが25であった。スレッドでは、non-cognitiveが3、cognitiveが19、socially-cognitiveは10であった。 χ^2 検定の結果、シングル、スレッドともに、non-cognitiveよりもcognitiveが有意であったことがわかった(スレッド： $p<.01$ 、シングル： $p<.01$)。しかし、シングル、スレッドともにnon-cognitiveとsocially-cognitive、または、cognitiveとsocially-cognitiveでは有意差は見られなかった。

表4-2 実験授業4-1：「物の燃え方と空気」
データベースに作成されたノートの内訳

ノートの内訳	シングルノート	60	シングル	60
	スレッドノート	21	スレッド	32
	ビルドオンノート	11		
計		92		

単位は件.

表4-3 実験授業4-1：「物の燃え方と空気」ノートの内容評価

評価	non-cognitive	cognitive	socially-cognitive
シングル	0	35	25
スレッド	3	19	10

単位は件.

(2) 実験授業4-2：「水溶液の性質」の結果と考察

実験授業4-2でKnowledge Forumのデータベースに作成されたノートは計403であった。表4-4には、403のノートの内訳を整理している。シングルノートは123、スレッドノートは98、ビルドオンノートは182であった。実験授業4-2においても、教師がビルドオンで子どもたちにアドバイスをしているが、これらのノートは分析の対象に含んでいない。シングルノート単体だけのシングルは60、スレッドノートとビルドオンノートを合計したスレッドは280であった。これらのことから、ノート作成時にデータベースの既存のノートに関連する情報を付け加えたビルドオンノートは、全体の4割半であることがわかった。

表4-5には、それぞれのノートの内容評価の結果を示している。2者で評定を行った結果は次の通りである（一致率80%）。シングルについては、non-cognitiveが0、cognitiveが111、socially-cognitiveが12であった。スレッドでは、non-cognitiveが16、cognitiveが166、socially-cognitiveが98であった。 χ^2 検定の結果、シングル、スレッドともに、non-cognitiveよりもcognitiveが、また、non-cognitiveよりもsocially-cognitiveが有意であったことがわかった（スレッド： $p<.01$ 、シングル： $p<.01$ 、）。またcognitiveとsocially-cognitiveでは、シングル、スレッドともにcognitiveが有意であった。

4.4. 総括

本章では、実験授業4-1と実験授業4-2における授業デザインの修正が知識構築型の情報検索にもたらした影響について、情報利用と情報提供の2つの側面から明らかにするために、Knowledge Forumを利用した子どもたちがデータベースに作成したノートの分析を行ってきた。

情報利用に関する分析の結果からは、次のようなことが示された。子どもたちがノートを作成する際に、既存のノートを利用してそれに関連する情報を付け加えることができていたのは、実験授業4-1でデータベース全体のノートの1割程度、実験授業4-2で4割半であった。これらの結果からは、実験授業4-1と比較すると実験授業4-2で、既存のノートへの関連情報の付け加えは、4倍以上に増加していることがわかった。

情報提供に関する分析の結果からは、次のようなことが示された。実験授業4-1ではスレッド、シングルともに、non-cognitiveよりもcognitiveが有意であったが、non-cog-

表4-4 実験授業4-2：「水溶液の性質」
データベース中に作成された子どものノートの内訳

ノートの内訳	シングルノート	123	シングル	123
	スレッドノート	98	スレッド	280
	ビルドオンノート	128		
計		403		

単位は件.

表4-5 実験授業4-2：「水溶液の性質」ノートの内容評価

評価	non-cognitive	cognitive	socially-cognitive
シングル	0	111	12
スレッド	16	166	98

単位は件.

nitiveとsocially-cognitiveでは有意差は見られなかった。一方、実験授業4-2ではスレッド、シングルともにnon-cognitiveよりも、cognitiveやsocially-cognitiveが有意であった。これらの結果から、実験授業4-2ではnon-cognitiveのノートが全体として減少したことが示された。

こうした情報利用や情報提供に関する変化は、子どもたちの習熟という側面もあるものの、実験授業4-1と実験授業4-2の授業デザインの相違に起因していると考えられる。そこで、実験授業4-1と実験授業4-2での知識構築型の情報検索について、授業デザインの観点から検討してみる。

実験授業4-1では仮説検証を中心とした活動を行ったが、実験授業4-2では調査探究を中心とした活動を展開するとともに、他者の情報の参照が必要となる活動を意図的にデザインした。仮説検証型の活動では、班内の思考活動に傾注しやすく、そのためKnowledge Forumのような、他者との情報共有を支援するソフトウェアを利用していても、データベース上のノートを活用したり、他者と共有して利用することを前提とした記述が促進されなかったものと考えられる。それに対し、調査探究型の活動を展開した実験授業4-2では、班ごとに取り組む課題が異なることや、他者のノートをリソースとすることで自分たちの活動や思考が裏付けられたり拡張したりすることから、知識構築型の情報検索を促進できたのではないかと推察される。

これらのことから、科学の現象を仮説検証によって理解するという授業デザインでは、班内の知識を公表したり、他者の知識を利用したりすることで理解が深まるような学習の展開が必要であると考えられる。これは、実験授業4-2で取り入れた他者の情報の参照が必要となる活動の意図的なデザインにおいて、子どもたちに知識構築型の情報検索を促進できた点からも指摘できる。

また、知識構築型の情報検索の促進は、実験授業4-1ではサブウィンドウで表示した研究日誌を実験授業4-2で改良し、学習履歴ホームページとしてKnowledge Forumと一体化させたこと、フレーム構造を採用して授業の流れを明確に示すことで学習活動の位置付けに対する理解を容易にしたことの効果もあったと推測することができる。実験授業4-2で利用したホームページは、授業の流れが日時別ではなく、学習内容の連鎖として整理されているとともに、授業をふりかえるためのグラフィックスやムービーなどの学習リソースが豊富に配置されていた。授業では、毎時間クラス全体でそれを確認し共有するような活動がデザインされており、こうしたデザインの修正が、単にソフトウェアの使用経験の増

大からだけでなく、Knowledge Forum 上の活動に良い変容をもたらしたと考えられる。それは例えば、表4-6に示したように、ホームページについての学習者による評価の一端に表れている。子どもSは、必要な情報へのアクセスがスムーズにできたことを評価している。また、子どもFは、それまでの授業についての情報を得ることで、継続してノートを作成ができたことを述べている。

このように、授業の流れを明確にし、また、クラス全体で共通理解を行うことで、子どもたちに、「自分たちがどこへ向かおうとしているのか」、「そのために今していることにはどのような意味があるのか」、ということを示すことができる。その結果が、実験授業4-2で授業に直接関係のない内容を記載したnon-cognitiveのノートが全体的に減っていることに表れたと推察できる。

以上のことから、Knowledge Forum を用いた学習環境においては、授業デザインを工夫することによって、学習者の知識構築型の情報検索をより有効に支援することが可能であると結論できる。もちろん、本章では、授業デザインの修正により、情報利用が4倍にはなったものの、データベースに作成された総ノート数から見れば格段に促進されたという結果を得ることはできなかった。また、情報提供においても、学習に関係のない内容記述は減ったものの、他者との共有を意識したノート作成は促進されなかった。しかしながら、授業デザインという観点から2つの実験授業を検討し、これらの授業デザインの差異と子どもたちの情報検索にもたらした変化について実証的に示したことは、科学教育においてCSCLシステムを有効に利用するための議論に重要な知見を提供するものであったと評価することができる。

表4-6 実験授業4-2：学習履歴ホームページについての子どもの評価

子どもS

あの一，すごく，あの一よかったと思うんですけども，えっと，そのホームページにつながって，簡単に僕たちもそこから書き込みたいところに行けたり，いろんな見たいところにすぐ，見たいところが分かったので，それはよかったです。

子どもF

えっと，例えば，前の授業の続きの，なんか，意見をノートの書き込んだりするときに，前の授業ってどんなだったかなっていうふうに忘れてしまうことがあると思うんですけど，そういうので，あの一，前の授業のところをクリックしてムービーとか見ると，とてもよく前の授業のことが，あの一，ふりかえり一，ってというか書かれているので，それで，ノートを続けて書いたり，そういうこと，そういう便利なことができました。

第5章 実験3：社会的領域に関する事例研究 —オンライン上の相互作用とオフライン上の相互作用—

Duschl (2003) が示した科学の教授・学習研究における3つの領域に関する事例研究として、第3章では、概念的領域を取り扱った事例について検討した。そこでは、Knowledge Forum のシステム・デザインの工夫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を支援できるか否かという課題について検討してきた。また、第4章では、認識論的領域を取り扱った事例研究として、2つの実験授業における授業デザインの修正が、知識構築型の情報検索をいかに支援できるのかという課題について述べた。

本章では、社会的領域の事例研究について検討する。社会的領域とは、「知識が伝達・共有されたり表現されたりする方法、あるいは知識が立証されたり討論されたりする方法に関する社会的プロセスと場」に関する領域であり、学習者が他者と協力して科学的な探究を行う際の学習者同士の共同作業やコミュニケーションを取り扱った領域である。

本章で実施した実験授業は、小学校の理科授業における共同作業場面に Knowledge Forum を導入することで、学習者同士のコミュニケーション支援を目指したものである。この学習者同士のコミュニケーションは、Knowledge Forum 上ではオンライン上の相互作用として、対面状況での学習活動ではオフライン上の相互作用として生起する。Knowledge Forum を利用した共同作業では、学習者同士が他者のノートを閲覧し合ったり、その内容をノート作成に活かし合ったりすることで、Knowledge Forum 上におけるオンライン上の相互作用を支援できる。また、Knowledge Forum 上の他者のノート閲覧は、学習者同士がその内容を対面状況の学習活動における対話に反映させることで、オフライン上の相互作用を支援できる。実験授業の評価では、これら2つの相互作用について詳しく検討することを通して、Knowledge Forum の利用が共同作業場面における学習者同士のコミュニケーションを支援できていたか否かについて明らかにする。

5.1. 社会的領域に関する事例研究の問題の所在

学習者同士のコミュニケーションを取り扱った CSCL に関する研究は、システムが支援対象とする学習空間という観点から、「遠隔状況」にある学習者の協調学習を支援する研究

と、「対面状況」の協調学習を支援する研究の二つに大別できる。遠隔状況の協調学習に関する研究には、例えば、中原ら（2001）、中原ら（2002）、西森ら（2001）、山内（1999）がある。一方、対面状況にある協調学習を対象とする研究については、例えば、益川（1999）は、大学の授業にCSCLシステムを導入し、ネットワークを介してオンライン上で行われる非同期的な相互作用の支援を試みている。永田ら（2002）や大島・大島・村山（2002）も同様に、大学での授業実践を対象とし、CSCLシステムを利用することの有効性を見出している。また、大学の授業以外にも、小学校や中学校の授業を対象とした研究も行われている（中根ら、2001；大島ら、2003；竹中ら、2002）。

対面状況の協調学習に関する研究において、CSCLシステムは、学習者同士が議論を行うための手段として利用されている。対面状況でありながら、クラス全体で一斉に授業を進めるのではなく、数名の学習者のグループがそれぞれのペースで学習を進めるような場面において、学習者はCSCLシステムを利用することで、自分たちの考えに対して他者からコメントをもらったり、他者の考えに対してコメントしたりできるのである。

その一方で、CSCLシステムは、学習者同士でお互いの情報やアイデアを共有するための手段としても積極的に利用されている。岡本（2000）によれば、CSCLの特徴は、協同作業の効率化をねらうCSCWとは異なり、対象領域に関する学習者の深い理解の促進や、他者とのコミュニケーションを通じたメタ認知能力の育成などの支援に関する研究領域であることだとされている。さらには、CSCLシステムが支援する学習活動は、複数の学習者による協調的な問題解決であり、その学習場面の一つに、他者の情報やアイデアを同期・非同期に共有することがあると論じられている。

対面状況においてCSCLシステムを利用した研究では、そのシステム利用の有効性を解明する際に、オンライン上の相互作用に着目している。しかしながら、その一方で、システムを利用している際の会話や対面状況の学習活動といったオフライン上で行われる相互作用には、さほど着目していない。わずかに、鈴木ら（2002a, 2002b）が大学生の授業を対象とした分析に着手し始めているだけである。

もちろん、対面状況の授業においてCSCLシステムを利用する場合、ネットワークを介した相互作用が主要な活動として位置付けられている。したがって、オンライン上の相互作用に着目し、そのプロセスを分析することは、CSCLシステムの学習支援の有効性を検討する上で重要である。

ところが、対面状況の授業では、オンライン上の相互作用だけが行われているわけでは

ない。CSCLシステムを利用する際に他者と直接的に会話するというように、オフライン上でも相互作用が起こっている。それはまた、対面状況における協調学習の一側面なのである。

さらには、CSCLシステム上の他者の情報やアイデアに触発されたり影響を受けたりして、対面状況下にある学習者同士の会話が活性化したり、議論が始まったり、新たな活動が展開したりすることもあると考えられる。中原（1999）は、「学習活動が営まれる際に、人間が利用し参照する認知的な資源を指示する概念」を「リソース」と呼んでいる。このリソースという概念を援用すれば、CSCLシステムを利用したオンライン上の相互作用は、オフライン上の相互作用を促進するリソースになり得るものとして捉えることができる。

鈴木ら（2002a）や鈴木ら（2002b）は、電子会議室でのオンライン上の相互作用が、対面状況下にある大学生の協調的な教具制作活動を促進していたことを明らかにしている。この電子会議室におけるオンライン上の相互作用をリソースという概念で捉えてみると、オンライン上の相互作用は対面状況下の教具制作活動というオフライン上の相互作用を促進するためのリソースになっていると言える。

そこで本章では、小学校の理科授業に、CSCLシステムである Knowledge Forum を導入し、授業におけるオンライン上の相互作用とオフライン上の相互作用に関する分析を行うことで、Knowledge Forum の利用が共同作業場面における学習者同士のコミュニケーションを支援できていたか否かを検討した。オンライン上の相互作用については、Knowledge Forum に蓄積されたノートとログデータを分析し、学習者の理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用を実現できていたのかについて検証した。オフライン上の相互作用については、Knowledge Forum を利用する際に行われた対面状況の学習活動を分析し、オンライン上の相互作用がオフライン上の相互作用を促進するリソースとなっていたのかについて検討した。

5.2. 実験授業の概要：「物の溶け方」

Knowledge Forum を利用した授業は、兵庫県内の国立大学附属小学校5年生の1クラス（35人）を対象に、理科の化学分野に関する「物の溶け方」で実施された。実施期間は2001年11月8日から2002年3月7日までで、通常の単元配当時間とコンピュータの時間を合わせた計30時間であった。

単元の構成については、前半が「物の溶け方の規則性に関する学習」、後半が「大きくて透明で正八面体になったミョウバンの結晶づくりに関する学習」であった。前半では、学習指導要領で示されている「物が水に溶ける量には限度があること」、「物が水に溶ける量は水の量や温度、溶ける物によって違うこと。また、この性質を利用して、溶けている物を取り出すことができること」、「物が水に溶けても、水と物とを合わせた重さは変わらないこと」という内容について、実験やシミュレーション（図5-1）などを通して学習した。

後半では、これらの基礎的な知識の利用を必要とする発展的な学習として「大きくて透明で正八面体になったミョウバンの結晶づくり」を行った。この後半の結晶づくりに関する学習が、本章での分析対象となる Knowledge Forum を利用した学習である。

子どもたちが取り組む問題解決は、「自分たちで実験を行うだけでなく、できるだけ多くの他者の実験計画・結果・考察を利用して、大きくて透明で正八面体になったミョウバンの結晶つくるための要因と条件を解明する」ことであった。子どもたちは、3～4人で1つの班を構成し（全9班）、「予想に基づいた計画—結晶づくりの実験—実験結果の考察」というサイクルを3回繰り返した。その中で、Knowledge Forum を利用して「実験計画」、「実験結果」、「実験の考察」という3種類のノートを作成するとともに、他班が作成したこれらのノートを閲覧した。Knowledge Forum のノート作成やノート閲覧は、この班単位で行った。図5-2には、ある班が作成した実験結果のノートの例を示している。

こうした実験活動や Knowledge Forum の利用を通して、水の容量 (cc)、ミョウバンの質量 (g)、水の温度 (°C)、冷やし方 (急激に冷やす、ゆっくり冷やす)、糸の長さ (ビーカーの上側、ビーカーの中央、ビーカーの底につく)、種結晶 (有り、無し) の「要因」、ならびに、各要因ごとの数値や状態である「条件」を同定しながら、結晶づくりの妥当な要因・条件を解明していった。なお、結晶づくりの妥当な要因・条件とは、水の容量、ミョウバンの質量、水の温度については単元の前半で学習したミョウバンの溶解度に関連する数値、冷やし方についてはゆっくり冷やす、糸の長さについてはビーカーの上側もしくは中央、種結晶については有りであった。

Knowledge Forum の利用に際しては、他者のノートを閲覧することのマイナス面、すなわち、他班のノートをそのまま真似てオリジナリティの少ないノートを作成してしまったり、自分たちで結晶づくりについて考えようとしなかったりすることを回避するとともに、共同作業場面におけるノート閲覧のプラス面が積極的に発揮されるようにするために、単元の展開において次の2点の工夫を行った。

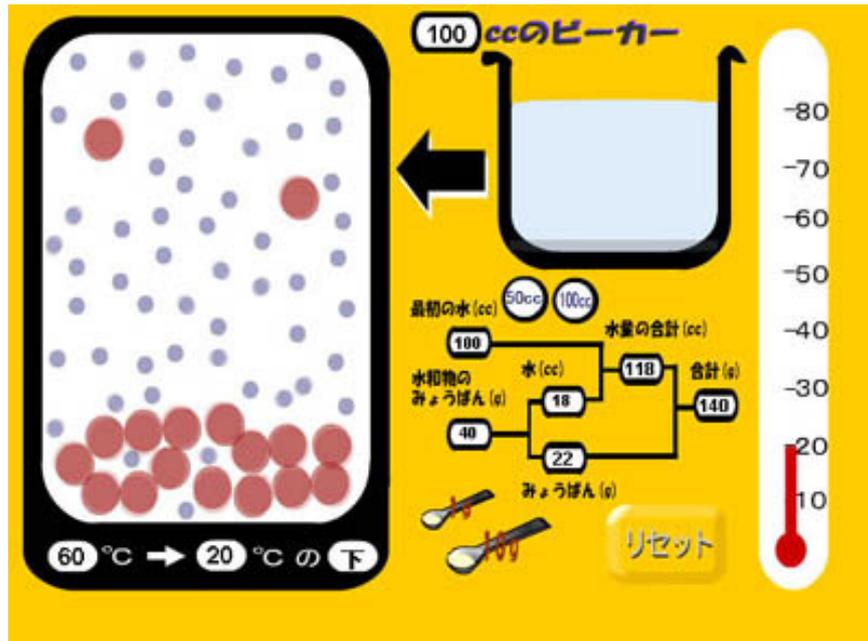


図5-1 シミュレーション画面の例

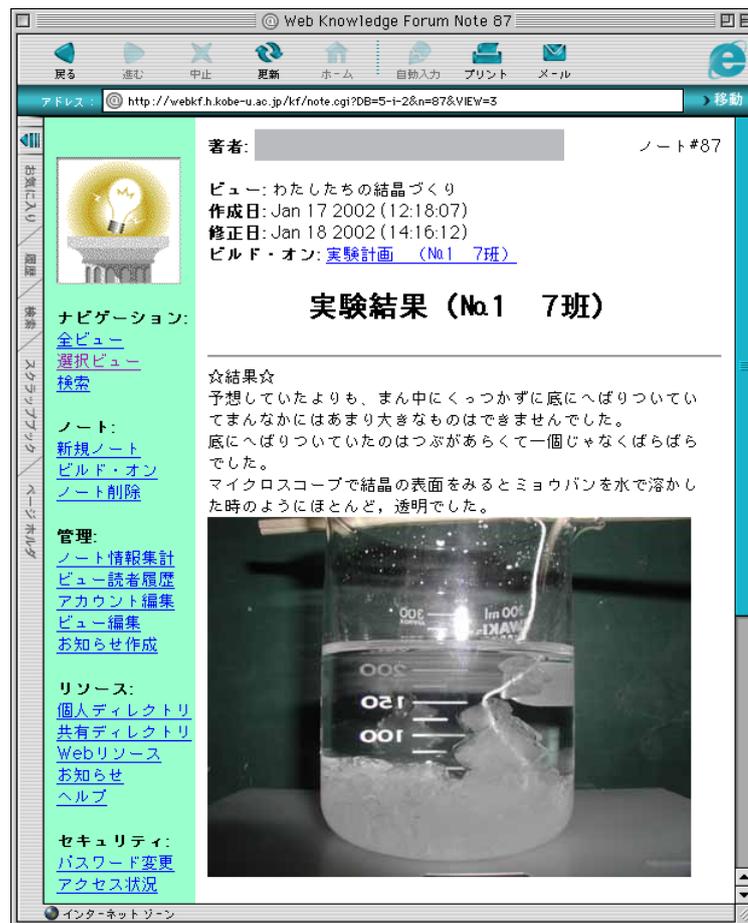


図5-2 実験結果のノートの例

図中の 部分にはノートの著者名が示されている。

1点目は、実験計画、実験実施、実験結果の考察を同じ順序で、同じ授業時間内に行うようにしたことである。例えば、実験計画を立案する場合、同一授業時間内にすべての班が実験計画を検討するようにした。このような単元展開であれば、班ごとに活動の進行状況の差があまり発生しないので、「どこかの班が実験の計画・実施・考察を経て知り得た結晶づくりの要因・条件を他の班がそのままノートに書き写す」というような行為をある程度防止することができる。

2点目は、Knowledge Forumのノート作成と閲覧の時間をそれぞれ個別に確保したことである。具体的には、自分たちのノートを作成した後に他班のノートを閲覧し、そこで得た情報に基づいて自分たちのノートを修正するようにした。この工夫を通して、各グループにオリジナルなノートが作成されるとともに、ノートの閲覧が多種多様な情報やアイデアの主体的な探索活動になるように配慮した。

以上のKnowledge Forumを利用した学習について、本章で分析対象とするオンラインの相互作用とオフラインの相互作用を確認しておく。まず、オンラインの相互作用については、「Knowledge Forum上の他班のノート閲覧」に焦点を当てた。本單元におけるKnowledge Forumの利用は、結晶づくりの要因・条件に関する情報をクラス全体で共有することを目的としており、こうした共有がKnowledge Forum上のノートの閲覧という形で行われていたからである。次に、オフラインの相互作用については、「Knowledge Forumを利用して他班のノートを閲覧する際に班内の子どもたち同士が行う学習活動」に焦点を当てた。実験授業では、3～4名の子どもたちが1つの班を構成し、その班単位でKnowledge Forumを利用して他班のノートを閲覧しつつ、お互いに会話したり実験を行ったりしながら、自分たちの実験の計画・結果・考察を進めていたからである。

5.3. オンライン上の相互作用に関する分析

5.3.1. 目的

オンライン上の相互作用に関する分析の目的は、Knowledge Forumの利用が子どもたちの理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用を支援できていたかどうかを検証することであった。具体的には、オンライン上の相互作用については、各班がどれだけ多くの他班のノートを閲覧できていたのかを明らかにすることを試みた。また、オンライン上の相互作用と理解深化の関係については、自分の班の結晶づくりを洗練させるために、閲

覧した他班のノートの内容を利用できていたかどうかを検討した。

5.3.2. 方法

(1) 分析対象

Knowledge Forum に蓄積されたノート及びログデータであった。

(2) 分析の手続き

オンライン上の相互作用に関する分析については、1回目の実験計画から2回目の実験計画までの期間（以下、フェーズ1）、2回目の実験実施から3回目の実験終了までの期間（以下、フェーズ2）のそれぞれについて、「8班中何班のノートを開覧していたか」という閲覧した班の数を求めた。

オンライン上の相互作用と理解深化の関係に関する分析については、次の手順で行った。

(a) 結晶づくりの洗練

まず最初に、次の2つの観点から、各班が明らかにできていた結晶づくりの要因・条件を各フェーズの前後で比較した。「水の容量 (cc)」、「ミョウバンの質量 (g)」、「水の温度 (°C)」、「冷やし方 (急激に冷やす, ゆっくり冷やす)」、「糸の長さ (ビーカーの上側, ビーカーの中央, ビーカーの底につく)」、「種結晶 (有り, 無し)」という結晶づくりの要因について着目できた要因が増えていたか。それぞれの要因の条件が、大きくて透明で正八面体の結晶を作るための妥当な数値・状態になっていたか。

この比較において、着目できた要因が増えたか、もしくは、いずれかの要因の条件が妥当なものになっていたという場合は「結晶づくりの洗練有り」、要因も増えず条件も妥当なものになっていなかった場合は「結晶づくりの洗練無し」と判断した。

(b) 他班のノート利用

続いて、上記 (a) の分析において「結晶づくりが洗練されていた」と判断された班について、ノートの閲覧履歴と閲覧したノートの内容を吟味し、結晶づくりの洗練が、他班のノートに書かれた内容を利用することでなされていたものか、そうでないのかを検討した。結晶づくりの洗練において他班のノートを利用していた場合は「他班のノート利用有り」、利用していなかった場合は「他班のノート利用無し」と判断した。

5.3.3. 結果・考察1：全体分析

表5-1には、フェーズ1の分析結果を示している。A班、H班、I班は、8つの班のノートすべてを閲覧するとともに、結晶づくりを洗練するとき、それらの班のノートに書かれていた内容を利用できていた。また、D班は、8班中5つの班のノートを閲覧しつつ、結晶づくりの洗練においてそれらの班のノートを利用できていた。ところが、E班、F班は1つの班のノートしか閲覧しておらず、結晶づくりを洗練させてはいるものの、他班のノートを利用できていなかった。B班、C班、G班は、どの班のノートも閲覧していないため、結晶づくりを洗練させるときに他班のノートを利用できていなかった。

表5-2には、フェーズ2の結果を示している。フェーズ2では、B班、E班、F班、H班、I班が8つの班のノート、C班とD班が7つの班のノートを閲覧しており、これらの班はいずれも、結晶づくりの洗練において他班のノートを利用できていた。A班、G班は2つの班しか閲覧できておらず、A班は他班のノートを利用できたものの、G班は利用できていなかった。

これらの結果から、理解深化を伴うオンライン上の相互作用は、フェーズ1ではいくつかの班でしか達成されていなかったが、結晶づくりの要因・条件の解明が進展したフェーズ2においては多くの班で達成されていたと言える。

5.3.4. 結果・考察2：事例分析

5.3.3. ままでに検討してきた理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用の内実を授業の文脈に即して具体的に明らかにするために、5.3.4. では、1つの事例を取り上げて、そこで行われていたノートの閲覧と結晶づくりの洗練のされ方を検討する。この事例は、フェーズ1から抽出されたもので、1回目の結晶づくりに失敗したH班の子どもたちが、全ての班のノートを閲覧することで失敗の原因を解明し、2回目の結晶づくりを成功させるというものである。

表5-3には、1回目と2回目の結晶づくりに関してH班が作成したノートの内容を示している。ノート80には、1回目の実験計画が記載されている。水温は40℃と書かれている。糸の使用については述べられているものの、糸の長さについては言及されていない。1回目の実験は、小さい結晶が析出し失敗に終わっている（ノート96）。しかしながら、H班の子どもたちは、ノート109に示されているように、他班のノートを閲覧することで、「水温を80℃にすること」、「糸をピーカーの底までつけない長さにすること」に気付き、ノート125のように結晶づくりの要因・条件を修正するに至っている。

表5-1 フェーズ1の分析結果

班	閲覧した 班の数 (%)	結晶づくり洗練	ノート利用
A	8(100)	有	有
H	8(100)	有	有
I	8(100)	有	有
D	5(62.5)	有	有
E	1(12.5)	有	無
F	1(12.5)	有	無
B	0(0.0)	有	無
C	0(0.0)	有	無
G	0(0.0)	有	無

カッコ内の数値は、8班中の割合を示している。

表5-2 フェーズ2の分析結果

班	閲覧した 班の数 (%)	結晶づくり洗練	ノート利用
B	8(100)	有	有
E	8(100)	有	有
F	8(100)	有	有
H	8(100)	有	有
I	8(100)	有	有
C	7(87.5)	有	有
D	7(87.5)	有	有
A	2(25.0)	有	有
G	2(25.0)	有	無

カッコ内の数値は、8班中の割合を示している。

表5-3 事例：H班のノート

ノート80 実験計画1	ビーカーの中に200ccの水を入れる。水温を40℃まで上げる。100gのミョウバンを入れる。糸をつるした割りばしを入れる。
ノート96 実験結果1	結晶はできたが、とても小さかった。ビーカーの底は小さな粒が固まって海の砂状態。
ノート109 考察1	成功した班をみってみると温度が80度でミョウバンが水の中で溶けきっていた。下にたまらないように（固まらないように）するには糸を底までつけないこと。どの班も糸を底につけてしまうと下に固まっていた。
ノート125 実験計画2	ビーカーに200ccの水を入れる。80℃まであたためる。ミョウバン125gを入れる。割りばしにたこ糸をつけて、上から約3/4のところまでたらす。

この班は、ノート96を書いてからノート109を書くまでの間に、すべての班の「実験計画」と「実験結果」のノートを閲覧していた。表5-4には、各班の実験計画と実験結果のノートに記載されていた内容を整理している。この表からは、糸に結晶ができていた班は水温が80℃であることがわかる。また、その中でも、糸がピーカーの底についていなかったC班は、糸についた結晶が底の結晶に連なっていないことがわかる。

このように、H班の子どもたちは、Knowledge Forumに蓄積された他班のノートを閲覧することで、失敗の原因を発見し、2回目の実験に向けて計画を修正することができていたのである。

5.4. オフライン上の相互作用に関する分析

5.4.1. 目的

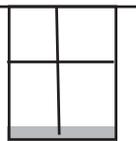
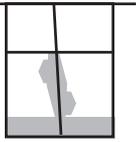
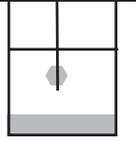
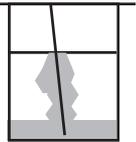
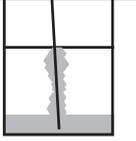
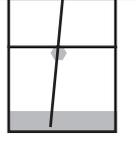
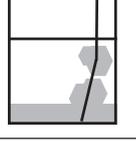
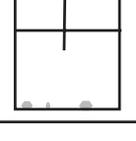
オフライン上の相互作用に関する分析の目的は、Knowledge Forumを利用する際に行われた対面状況の学習活動を分析し、オンライン上の相互作用がオフライン上の相互作用を促進するリソースとなっていたのかについて検討することであった。ここでいうオンライン上の相互作用とは、Knowledge Forumのノート閲覧やノート作成のことであり、分析にあたって特に注目したのはノート閲覧である。オフライン上の相互作用とは、こうしたノート閲覧や作成に関わる会話や実験活動などである。したがって、分析では、Knowledge Forumのノートを閲覧する中で他班のノートに書かれた内容に触発されたり影響を受けたりして、班内の子どもたち同士の会話や実験活動が活性化していたかどうかを明らかにした。

5.4.2. 方法

(1) 分析対象

分析の対象は、無作為に抽出された1つの班の言語的・非言語的行為であった。抽出された班の子どもは3名で、取り上げた言語的・非言語的行為は実験計画を立てる場面で行われたものである。実験計画場面を取り上げたのは、この場面において、Knowledge Forumを利用しながらの会話や実験活動が最も頻繁に行われていたからである。子どもたちの言語的・非言語的行為はビデオカメラ1台を使用して記録された。この記録を書き起こしたプロトコルを作成し、分析データとした。

表5-4 事例：他班のノートの内容

班	水 ミョウバン 水温	実験結果 (絵は各班の実験結果の写真を図にしたものである)	
A班	300cc 50g 60℃		糸がビーカーの底まで届き，せんべい型の結晶とつながっている。
B班	200cc 100g 80℃		糸がビーカーの底について，結晶が糸から底に連なっている。
C班	250cc 溶けるかぎり 80℃		(針金を使用) 針金はビーカーの底についておらず，結晶は底とつながっていない。
D班	250cc 150g 80℃		糸がビーカーの底について結晶が糸から底に連なっている。
E班	150cc 100g 80℃		糸がビーカーの底について結晶が糸から底に連なっている。
F班	200cc 50g 80℃		糸はビーカーの底に届いているが，糸についた小さな結晶は底の結晶とは連なっていない。
G班	200cc 100g 80℃		糸がビーカーの底について結晶が糸から底に連なっている。
I班	250cc 25g 60℃		ビーカーの底に小さな結晶．糸はビーカーの底に届いていない。

(2) 分析の手順

分析は、次の手順で行われた。

(a) 言語的行為の進行の記述

フェーズ1の実験計画立案場面（2回目の結晶づくりの計画を立てる場面）とフェーズ2の同場面（3回目の結晶づくりの計画を立てる場面）における言語的行為の進行を記述した。言語的行為の記述に際しては、話者の交替もしくは発話内容の交替を1発話とし、これらを他班のノートに書かれている内容に言及した「他班ノート言及」と「他班ノート非言及」のいずれかに分類しながら行った。このような分類を行った理由は、対面状況の学習活動において他班のノートへの言及が、Knowledge Forumを利用した他班のノートを閲覧した結果として生じることだからである。さらには、他班のノートへの言及は、Knowledge Forumのノート閲覧が契機となって班内の子どもたち同士の会話や実験活動が活性化したことを示す指標の一つになると考えられるからである。

(b) 非言語的行為の進行の記述

非言語的行為の進行を、Knowledge Forumを操作してノートを作成する「Knowledge Forum（ノート作成）」、Knowledge Forumを操作して他班のノートを閲覧する「Knowledge Forum（ノート閲覧）」、コンピュータ上のシミュレーションを操作する「シミュレーション」、紙面のワークシートに鉛筆でメモを書く「ワークシート」、ピーカーの中の結晶を観察する「結晶」に分類しながら記述した。

これらのうち、オンライン上の相互作用は、非言語的行為の中の「Knowledge Forum（ノート作成）」と「Knowledge Forum（ノート閲覧）」であり、これら2つ以外の非言語的行為がオフライン上の相互作用である。非言語的行為の「シミュレーション」は、ネットワーク上ではなくスタンドアロンで動作するものであり、グループ間というよりは、むしろ個々のグループ内の活動を支援する意図で導入されていた。したがって、CSCLシステムであるKnowledge Forumと区別する意味でも、オフライン上の相互作用として位置付けた。なお、3名の子どもたちは、相互に協力して学習することが奨励されていたために、全員一斉にKnowledge Forumを操作したりワークシートにメモを書いたりしていた。

(c) エピソードの分類

上記(a)(b)に基づいて、対面状況の学習活動を「エピソード」単位で分類した。エピソードの分類は、ある学習活動の時点において結晶づくりに関するどの要因に注目してい

るかという学習活動の内容的な側面と、要因を探索しているのか、もしくは、要因は特定できておりその条件を探索しているのかという、学習活動のプロセス的な側面の2つの観点から行った。内容的な側面の具体的な観点としては、「水の容量」、「ミョウバンの質量」、「温度」、「冷やし方」、「糸の長さ」、「種結晶」という6タイプが設定された。

プロセス的な側面の具体的な観点については、「要因探索」、「条件探索」、「要因・条件検証」の3タイプが設定された。「要因探索」とは、結晶づくりの成功・失敗にどの要因が関係するのかを探索している学習活動のエピソードである。「条件探索」とは、要因は特定できたがどのような数値・状態にすればよいのかを探索しているエピソードである。「要因・条件検証」とは、要因と条件ともに特定できた上で、スタンドアロンのシミュレーションを利用してそれらの要因と条件で成功するか、失敗するのかの再確認を行っているエピソードである。

なお、上記の観点からいづれにも分類できないエピソード、すなわち、結晶づくりの要因・条件の探索や検証を伴わないものについては、その他のエピソードとして位置付けた。その他は、「結果記入」、「計画記入」、「コンピュータ操作」の3種類であった。「結果記入」は、自分たちの実験結果をKnowledge Forumやワークシートに事実記載的に書き写す学習活動のエピソードである。「計画記入」は、結果記入と同様に、自分たちで決定した実験計画をノートやワークシートに書き写す学習活動のエピソードである。「コンピュータ操作」は、キーボード入力の仕方、Knowledge Forumのメニュー・ボタンといったコンピュータ及びソフトウェアの操作そのものを確認したり質問したりするエピソードである。

(d) 他班のノートに言及した発話の有無

上記 (a) (b) (c) の分析結果を統合し、学習活動のエピソードの一つひとつについて、そのエピソードの中で「他班ノート言及発話」があったのか無かったのかを検討した。

5.4.3. 結果・考察1：全体分析

図5-3には、実験計画立案場面における学習活動を示している。フェーズ1の実験計画立案場面の時間は77分41秒であった。言語的行為については、発話数528のうち、他班のノートに言及した発話数は20であった。言語的行為と非言語的行為を併せて見てみると、Knowledge Forumを利用して他班のノートを閲覧したりシミュレーションを利用したりしているときに、他班のノートに言及していたことがわかる。また、数は少ないながらも、自分たちのノートを作成しているときにも、他班のノートに言及していたこともわかる。

表5-5には、フェーズ1の学習活動のエピソードに関する分析結果を整理している。エピソードは全部で12であり、「結果記入」と「コンピュータ操作」を除くと計9つであった。これら9つのエピソードは、内容的には、温度に関するものか、糸の長さに関するものであった。他班ノート言及発話の有無について検討してみると、要因探索1つのうち1つ、条件探索5つのうち4つ、要因・条件検証3つのうち2つ、合計すると9つのエピソード中7つが他班ノート言及発話を含んでいた。つまり、結晶づくりの要因・条件の探索や検証に関係するエピソードのほとんどにおいて、他班のノートに言及することが行われていたのである。

フェーズ2の時間は125分11秒であった。総発話数911のうち、他班のノートに言及した発話数は28であった。言語的行為と非言語的行為を見てみると、他班のノートを閲覧しているときにそのノートに言及していたことがわかる。

表5-6には、フェーズ2の学習活動のエピソードに関する分析結果を整理している。エピソードは合計9つであり、「結果記入」、「コンピュータ操作」、「計画記入」を除いたものは5つであった。これら5つのエピソードは、内容的には、ミョウバンの質量、糸の長さ、冷やし方に関するものであった。プロセス的には、5つすべてが条件探索であった。他班ノート言及発話の有無について検討してみると、5つすべてが他班ノート言及発話を含むものであった。すなわち、フェーズ2では、結晶づくりの条件探索に関係するエピソードのすべてにおいて、他班のノートに言及していたのである。

5.4.4. 結果・考察2：事例分析

5.3.3.の結果・考察を通して、他班のノートの内容に言及した発話は、総発話数と照らし合わせると量的には少ないものの、結晶づくりの要因・条件の探索や検証と関連するエピソードのほとんどにおいて含まれていることが明らかになった。このことを踏まえて、5.4.4.では、エピソードの事例をいくつか取り上げて、Knowledge Forumを利用したノート閲覧やノート閲覧の結果として生じる他班ノート言及発話が、対面状況での議論を開始したり新たな活動を展開したりするためのリソースとなっていたことを具体的に検討する。

以下では、学習活動のプロセス的な側面に着目して、「要因探索」、「条件探索」、「要因・条件検証」の3つのタイプから、それぞれ代表的な事例を1つずつ取り上げて検討する（事例の記述に用いた記号は次の通りである；アルファベットの前に付した数字：エピソード中の発話の番号，T：教師，A・B・C：子どもA・B・C，（ ）：注釈，《 》：聞き取り不

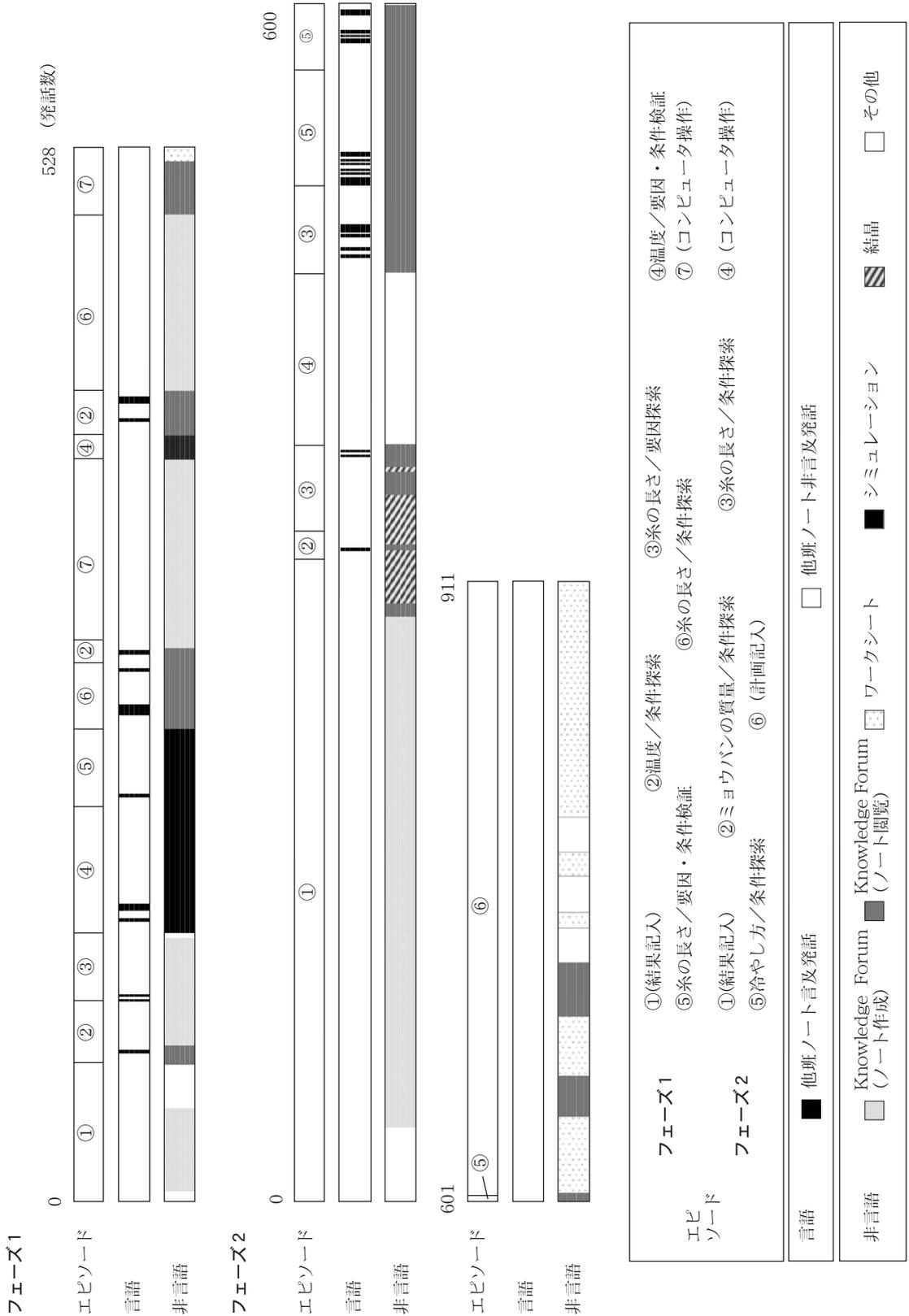


図 5-3 実験計画立案場面における対面状況の学習活動

表5-5 フェーズ1の学習活動エピソード

エピソード		他班ノート言及発話	
プロセス	内容	有	無
要因探索	温度	0	0
	糸	1	0
条件探索	温度	3	0
	糸	1	1
要因・条件検証	温度	1	1
	糸	1	0

単位は件.

表5-6 フェーズ2の学習活動エピソード

エピソード		他班ノート言及発話	
プロセス	内容	有	無
要因探索	質量	0	0
	糸	0	0
	冷やし方	0	0
条件探索	質量	1	0
	糸	2	0
	冷やし方	2	0
要因・条件検証	質量	0	0
	糸	0	0
	冷やし方	0	0

単位は件.

明瞭, . . . : 沈黙, [: 発話の重複).

(1) 糸の長さに関する要因探索

表5-7には、Knowledge Forum 上のノート閲覧を契機として、結晶づくりの要因の1つである「糸の長さ」について議論を開始した事例を示している。事例は、フェーズ1から抽出されている。

最初、子どもAは他班のノートを閲覧し、そこに貼られている結晶の写真を見ながら糸に着目する(1A)。1Aの発話を聞いて、子どもBは「やり方見せて」と述べ、結晶づくりの要因・条件が記載されているノートの部分を表示することを、子どもAに要請している。子どもAは、マウスを使ってノートをスクロールさせ、「冷やし方」が記載された部分を表示する(3A)。しかし、子どもBは「違うんだって」と述べ、別の要因の表示を要求する(4B)。これを受けて、子どもAが「糸の長さ」について記載された部分を表示したところで(5A, 6A)、糸の長さについての子どもAと子どもBの議論が開始される。

ここで、子どもBはこの班の結晶がピーカーの底に煎餅のような形になっている、つまり、結晶づくりに失敗したと述べるとともに、この班の糸が長いことに言及する(7B)。この7Bの発話は、「結晶づくりの失敗原因の1つが糸が長すぎることである」という意見の主張であると考えられる。すると、子どもAは子どもBの意見に反論し、ミョウバンが下にたまっていることが本質的な問題で、糸の長さや結晶が底にできてしまうことは関係がないと主張している(8A)。子どもAの反論に対し、子どもBはさらに主張を続ける。自分たちの班は糸の長さがピーカーの底にまで達していないから結晶ができずに「砂浜状態」になっている。このことを考慮すると、やはり糸の長さがピーカーの底の方まであったら、結晶が底にできるのではないかと、という主張である(9B)。

以上のように、この事例では、他班のノートの閲覧を契機として、「糸の長さ」という結晶づくりの要因について自分たちの意見を述べながら、その意見とこれまでの実験結果を関連付けるという形で議論が行われていた。

(2) 糸の長さに関する条件探索

表5-8には、他班のノートを閲覧することで、各班の実験結果と結晶づくりの要因・条件とを関連付けながら、糸の長さに関する条件探索を進行させている事例を示している。この事例は、フェーズ2から抽出されている。

表5-7 糸の長さに関する要因探索

-
- 1A：（他班のノートに貼られている結晶の写真を閲覧しながら）これ糸についてるね。
- 2B：（ノートを指しながら）ちょっと待って待って。やり方やり方見せて。上，上上。つくり方あったじゃん，つくり方。つくり方。前，つくり方，前，つくり方が。
- 3A：（「冷やし方」が記載されているノートの部分を表示しながら）氷水で冷やした。
- 4B：違うんだって，（中略）私が知りたいのは，《 》
- 5A：（「糸の長さ」を表示しながら）それはこっちや。
（中略）
- 6A：これ—どうでしょ。
- 7B：あ，お煎餅型だった，この班。ほらやっぱ糸の長さ長いじゃん。
- 8A：関係ないと思う。下たまってきてるから，糸にくっつくんやってこれ《 》。
- 9B：（中略）うちの班の下に糸さわってなかったでしょ。で，砂浜状態だったじゃん。
-

Knowledge Forum を操作しながら他班のノートを開覧していくと (1ABC), D 班のノート内容を声に出して読んでいた子ども C が糸に着目する (3C, 5C). 続けて, 「そうするとこうなる」と発言し, D 班の糸の長さに関する実験条件と実験結果を関連付けている (5C). さらに, 子ども C が声に出して読んでいるのを聞きながら一緒にノートを見ていた子ども A も, Knowledge Forum 上の実験結果写真のビーカーの底を指しながら, その結果を確かめている (6A). これらの子ども C と A の発話の連鎖を通して, 「ビーカーの底につけるぐらいの糸の長さにすると, 結晶づくりは失敗する」という実験条件と実験結果の関係付け, すなわち糸の長さに関する条件探索が成し遂げられていた.

(3) 温度に関する要因・条件検証

表5-9には, 他班のノートを開覧することが, 「温度は80℃」という温度に関する要因・条件検証を方向付けた事例を示している. この事例は, フェーズ1から抽出されている.

子ども A は, ノートの閲覧を中断し, 教師に対してシミュレーション利用を許可してもらおうとする (1A ~ 6A). 教師が許可を与えることで (7T), 子どもたちは, シミュレーションによって結晶づくりの要因・条件を検証する活動を開始する. 子どもたちは, ノートを開覧する中で発見した D 班の実験計画に着目し, D 班のノートに記載されていた温度の数値を入力した. これらの条件下でミョウバンは完全に溶解するのかどうかを探り始めたのである (10A, 13A, 14B). シミュレーションの結果が出ると, D 班の条件ではミョウバンが完全に溶けている状態であることを確認できている (21A). さらに, シミュレーションの温度を70℃に設定し, この温度ではミョウバンが溶け残ってしまうことを検証している (19A).

このように, 子どもたちは, D 班のノート を閲覧することに触発されて, 「温度は80℃」という要因・条件を検証することができていた.

5.5. 総括

本章では, 学習者同士が共同作業の場を共有するための環境構築を目的とし, Knowledge Forum を小学校の理科授業に導入して, その授業におけるオンライン上の相互作用とオフライン上の相互作用に関する分析を行って, Knowledge Forum の利用が子どもたちの共同作業場面におけるコミュニケーションを支援できていたかについて検討してきた.

表5-8 糸の長さに関する条件探索

-
- 1ABC : (他班のノートを見ている.)
2C : (CがD班のノートの内容を声に出して読み出す.) ビーカー, 300cc, 水
250cc, ミヨウバン 150cc.
(中略)
3C : ガスバーナー, 温度計, タコ糸. あ〜《 》。ガスバーナーをセット, 250cc
の《 》。
4AB : (D班のノートを見ている)
(中略)
5C : ガスバーナーで80℃にする。ミヨウバンを溶かす。割りばしに糸を……。
(実験結果の写真を見ながら) そうするところなる。(後略)
6A : (D班の結果の写真を指して) でもここ(結晶が一連に) くっついちゃっ
た。
7C : あ, そっか。
-

表 5-9 温度に関する要因・条件検証

-
- 1A：(ノートの閲覧を中断して) 先生, あっちみていいですか? あの～.
2B：ちょっと待って貸し・・・
3T：なに? なに?
4A：(N先生の方を向いて) あの, これじゃなくて～あの～ランチャーであの～これ.
5T：(うなづいて) シミュレーション? 《 》うん.
6A：で, でな, ちょっと初心に帰ろうと.
7T：うんうん, 初心に帰ろうと. はいはい, いいこっちゃ.
(中略)
8A： で, 100℃やとしたら, 100℃にしたら, あそこ, 100cc, いや, 300のc, 水に [・・・
9B： [水が入ってない
10A：入ってるよ.
(中略)
11A：あいつら 80℃のお湯に, 300ccに 150 やったから,
12B：[50 になればいいんじゃない.
13A：[3 だから, 50 か.
14T：え, これ何班?
15B：D 班.
16T：D 班ね, あ～はいはいはいはい.
17B：え, まってまってまってまって～.
18A：はい, スタート.
19A：(シミュレーションを見て) そうか, そうだよな. と, 溶け残らなかったらええんやもんな. とけ, だからもしこれが7, 次70℃になっていくやろ. 下, 下だけ注目しよ.
-

オンライン上の相互作用については、Knowledge Forumに蓄積されたデータベースとログデータを分析し、子どもたちの理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用を実現できていたのかを検証した。その結果、フェーズ1からフェーズ2へと結晶づくりの要因・解明が進展するに従って、子どもたちはより多くの他班のノートを開覧するとともに、結晶づくりを洗練させる際にそれらのノートに書かれた内容を利用することができていた。言い換えれば、単元の最後の方では、理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用を概ね実現できていたのである。オンライン上の相互作用に関する事例分析の結果は、子どもたちがより多くの他班のノートを開覧し、結晶づくりを成功させるための条件を吟味しながら、自分たちの結晶づくりの条件を洗練させていたことを裏付けるものであった。

このような「他者の知識を利用した理解深化とコミュニケーション」という課題について、三宅・白水（2003）は、協調過程が学習に有利に働くのは、それぞれが少しずつ違う見方・考え方を持ち、それが共有されやすく、さらに吟味もされやすいという条件が揃ったときであり、CSCLシステムのようなテクノロジーはこうした条件整備に貢献すると論じている。また、Knowledge Forumを利用してこれまでに実施された小学校理科の実験授業の分析（Oshima *et al.*, 2004）では、オンライン上の相互作用を分析して、他者のノートへのアクセスとその利用が、理解深化を促進させていたことを見出している。本章の分析結果は、これらの知見を実践的に裏付けるものであった。同時に、この結果は、本章で試みたCSCLシステムの利用が、子どもたちの科学の学習にとって効果的な協調過程を実現し得ることを示唆するものであったと結論できる。

オンライン上の相互作用に関する分析と併せて、本章では、オフライン上の相互作用に関する分析を行った。オフライン上の相互作用については、Knowledge Forumを利用する際に行われた対面状況の学習活動を分析し、オンライン上の相互作用がオフライン上の相互作用を促進するリソースとなっていたのかを検討した。

その結果として、結晶づくりに関する要因・条件の探索や検証活動の様々な局面において、Knowledge Forumを利用して閲覧した他班のノートの内容が、グループ内の子どもたち同士で行われた会話に浸透していたことを示した。事例分析の結果は、Knowledge Forumを利用したノート閲覧や、そこに書かれていた内容を取り込んだ発話が契機となって、結晶づくりに関する子どもたち同士の会話や実験活動が活性化していたことを示唆するものであった。これらの結果より、本章で対象とした授業において、オンライン上の相

相互作用はオフライン上の相互作用を促進するリソースになり得ていたと言える。

この「オンライン上の相互作用によるオフライン上の相互作用の実現」という課題に対して、鈴木ら（2002a）は、オンライン上の相互作用が学習活動そのものを促進し、大学生の理解が深化したことを見出している。また、鈴木ら（2002b）では、オンライン上の相互作用が対面状況の協調学習を促進していたことを明らかにしている。CSCLシステムを利用した研究では、オンライン上の相互作用の質的・量的側面に焦点が当てられる傾向にあるが、本章の結果では、鈴木ら（2002a, 2002b）の知見と同様に、Knowledge Forumの利用が、オンライン上の相互作用によるオフライン上の相互作用を実現できていたことを示した。特に、本章の結果は、小学校の理科授業を対象とした研究結果であることを踏まえると、小学校で通常行われている授業のような対面状況においてCSCLシステムを利用することの有効性を支持するという意味で、重要な知見を提供するものであったと結論できる。

第6章 結論

本研究では、コンピュータを利用した科学教育における協調学習を支援するための学習環境のデザインについて検討することを目的とし、Knowledge Forumを日本の小学校の授業に導入した事例研究を通して、科学教育におけるCSCL研究の3つの課題に取り組んできた。3つの課題とは、(1)「国内におけるCSCL研究事例の蓄積」、(2)「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」、(3)「コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明」である。これらの課題は、今日の科学教育のコンピュータ利用に関する研究領域において、新たな研究動向として注目されているCSCL研究が、科学教育の研究領域内部において発展していくために重要なものである。本章では、これらの課題に対する本研究の結論を示す。

6.1. 国内におけるCSCL研究事例の蓄積

本章までに、(1)「国内におけるCSCL研究事例の蓄積」として、3つの事例について検討してきた。第3章では、概念的領域を取り扱った事例として1つの実践授業を実施し、Knowledge Forumのシステム・デザインの工夫が、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を支援できるか否かという課題について検討した。第4章では、認識論的領域を取り扱った事例として、Knowledge Forumを利用した2つの実験授業における授業デザインの修正が、学習者の知識構築型の情報検索をいかに支援できるのかという課題について情報利用と情報提供の分析を通して明らかにするとともに、授業デザインの観点からこれらの結果について検討した。第5章では、社会的領域を取り扱った事例として1つの実験授業を実施し、Knowledge Forumを介した学習者同士のオンライン上の相互作用と、Knowledge Forumを利用する際の会話や対面状況の学習活動といったオフライン上の相互作用の分析を通して、Knowledge Forumの利用が学習者の共同作業場面におけるコミュニケーションを支援できていたかどうかについて検討した。

第1章で述べたように、90年代前半に学際的な研究分野として誕生したCSCLは、90年代後半に入り科学教育研究の領域内部でも展開されるようになってきており、その研究の意義が認められつつある。しかし、特に国内においては、科学教育におけるCSCL研究は着手され始めたばかりであり、より活発な展開が求められているのが現状である。このよ

うな現状において、本研究で3つの研究事例を示したことは、国内の科学教育におけるCSCL研究の発展に貢献できるものであったと言える。また、本研究では、単に3つのCSCLの事例研究を示しただけでなく、Duschl (2003) が示した「科学の教授・学習研究における3つの領域」である「概念的・認識論的・社会的領域」という枠組みに依拠して実験授業を展開するとともに、その評価を行っている。このことは、科学教育の研究領域内部において、CSCLが発展していくための一つの足がかりを示すことにつながると考えられる。そこで、次に、本研究の2つ目の課題である(2)「概念的・認識論的・社会的領域を統合した研究の実施」について議論する。

6.2. 概念的・認識論的・社会的領域を統合した議論

本研究の第3章、第4章、第5章において実施した事例研究では、Knowledge Forumを利用して、Duschl (2003) が示した科学の教授・学習研究が扱う3つの領域である「概念的領域」、「認識論的領域」、「社会的領域」に依拠した実験授業を実施し、その評価を行った。概念的領域とは、「科学的な推論に必要とされる概念構造や認知過程」に関する領域で、学習内容についての概念転換や理解深化について追究するものである。認識論的領域とは、「科学的探究の方法を発展させたり、評価したりする際に必要とされる認識論的枠組み」に関する領域で、学習者の科学的な探究の方法や技能について追究するものである。社会的領域とは、「知識が伝達・共有されたり表現されたりする方法、あるいは知識が立証されたり討論されたりする方法に関する社会的プロセスと場」に関する領域で、学習者が他者と協力して科学的な探究を行う際の学習者同士の共同作業やコミュニケーションについて追究するものである。

第3章では、概念的領域に関する事例研究を検討した。ここでは、小学校5年生の理科「動物の発生と成長」を対象にし、Knowledge Forumを利用した実験授業を実施した。実験授業では、概念変化をもたらすアナロジーという観点から、Knowledge Forumのシステム特性を最大限に発揮できるようにシステム・デザインを工夫した。また、「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2つの観点から実験授業を分析することを通して、学習者の理解や概念変化、Knowledge Forumの利用のされ方を検討した。

分析の結果からは、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 Knowledge Forum を利用し、「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」を確実に実現するためにそのシステム・デザインを工夫することで、学習者の概念変化を確実にもたらすアナロジーを支援できることが示された。具体的には、「動物の発生と成長」におけるベースドメインであるヒトに関する情報・アイデアと、ターゲットドメインである他の動物に関する情報・アイデアを Knowledge Forum 上で構造的に配置するように工夫することで、学習者が未知の内容について学習を展開する際に、彼／彼女らが内的に獲得している知識に加えて、Knowledge Forum 上に外化された既習事項の知識ベースを利用できるようにした。その結果、学習者は全員、ベースドメインに対する十分な理解ができていたこと、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。また、同時に、高い概念変化を起こしていた学習者は、Knowledge Forum 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が明らかになった。

第4章では、認識論的領域に関する事例研究を検討した。ここでは、Knowledge Forum を小学校6年生の理科「物の燃え方と空気（実験授業4-1）」、「水溶液の性質（実験授業4-2）」の2つの単元に導入し、実験授業4-1と実験授業4-2で学習者の知識構築型の情報検索を支援するための授業デザインを修正した。知識構築型の情報検索とは、他者の情報を一方的に消費するのではなく、他者の情報を利用すると同時に、自己の情報も提供するという双方向的な情報検索である。授業デザインの修正は、知識構築型の情報検索に関連する4つの変数「科学的な探究活動の方法」、「他者の知識の参照を必要とする活動の設定」、「学習履歴の表現方法」、「学習履歴の活用方法」について行った。知識構築型の情報検索について、情報利用と情報提供の2つの側面からそれぞれの実験授業に関して行った分析結果では、授業デザインの修正が学習者の知識構築型の情報検索に影響をもたらしたことが明らかになった。そこでは、授業デザインの修正が他者の情報利用を促進していたこと、情報提供では、Knowledge Forum のノートの記述内容が変化していたことがわかった。

また、この結果を授業デザインの観点から考察することで、次の2点が示唆された。(1) 実験授業4-1で取り入れた仮説検証型の活動では、グループ内での思考活動に傾注しやすくなり、Knowledge Forum のような、他者との情報共有を支援するソフトウェアを利用していても、データベース上のノートを活用したり、他者との共有利用を意識したノートの記述が促進されなかった。一方、調査探究型の活動を展開した実験授業4-2では、グルー

第6章 結論

プごとに取り組む課題が違うことや、他者のノートのリソースとすることで自分たちの活動や思考が裏付けられたり拡張したりすることから、他者との共有利用を意識したノートの記述が促進された。(2) 実験授業4-2では、学習履歴の表現方法を修正し授業の流れを明確に示すことで学習活動に対する理解を容易にしたこと、グラフィックスやムービーなどの学習リソースを豊富に配置したこと、また、授業では毎時間クラス全体で学習履歴を確認し共有するような活動を取り入れたことで、授業に直接関係のない内容を記載したノートが減少し、Knowledge Forum 上の活動に良い変容をもたらした。

第5章では、社会的領域に関する事例研究を検討した。ここでは、学習者同士が共同作業の場を共有するための環境構築を目的として、小学校5年生の理科「物の溶け方」に Knowledge Forum を導入した。その授業におけるオンライン上の相互作用とオフライン上の相互作用に関する分析を行い、Knowledge Forum の利用が共同作業場面における学習者同士のコミュニケーションをいかに支援できていたかについて検討した。その結果、オンライン上の相互作用の分析では、学習者の理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用を概ね実現できていたことがわかった。また、オフライン上の相互作用に関する分析の結果からは、Knowledge Forum を利用したノート閲覧やそこに書かれていた内容を取り込んだ発話が契機となって、結晶づくりに関する学習者同士の会話や実験活動が活性化していた。さらに、学習の様々な局面において、閲覧した他班のノートの内容が、グループ内の学習者同士の会話に浸透していたことがわかった。

オンライン上の相互作用に関する分析において、学習者の理解深化をもたらすようなオンライン上の相互作用を実現できていたという結果は、Knowledge Forum の利用が、子どもたちの科学の学習にとって、効果的な協調過程を実現し得ることを示唆するものであった。オフライン上の相互作用の分析の結果からは、オンライン上の相互作用がオフライン上の相互作用を促進するリソースとなっており、小学校で通常行われている授業のような対面状況において、CSCL システムを利用することの有効性を支持するものであった。

以上を示してきたように、本研究の Knowledge Forum を利用した実験授業では、そのソフトウェアの特性を活かして授業デザインを工夫することで、科学の学習における概念的・認識論的・社会的領域を対象とした支援を試みた。こうした3つの領域に関する事例研究で示されたように、Knowledge Forum を利用した学習環境においては、その利用方法だけでなく、授業デザイン自体を工夫することで、学習者の理解深化を支援すること、情報検索活動を支援すること、学習者同士の共同作業とコミュニケーションを支援すること

が可能となる。

もともと、概念的・認識論的・社会的領域というのは、科学の学習のある側面を切り出すために設定された分類枠組みである。しかしながら、学校における授業では、これらの領域が複雑に絡み合いながら成立している。こうした授業の現実に即したCSCL研究は、第1章でも述べたように、海外では、WISEプロジェクト（Linn & Hsi, 2000）やLeTUSプロジェクト（LeTUS Project, 2004）で着手され始めている。これらのプロジェクトでは、本研究で取り組んできた概念的・認識論的・社会的領域を明示した研究手法は採用されていないが、ある特定のソフトウェアを利用した授業実践の中で、科学の学習支援について多面的なアプローチを取っている。

本研究では、Knowledge Forumというソフトウェアを用いて、科学教育の側面を切り出すための概念的・認識論的・社会的領域という枠組みに依拠した事例研究を行った。本研究が、こうした科学の学習に特化した枠組みを利用し、かつ、授業実践を通して、科学の学習について詳細に検討してきたことは、科学教育におけるCSCL研究の具体的な手法の一つを提示できたと言えるとともに、第1章で示したCSCL研究の研究課題でもある「実践としての教育」に貢献できるものであったと言える。

「実践としての教育」への貢献という点では、CSCL研究がコンピュータを利用した科学の協調学習を成立させるための原則的な知見を導き出すことができれば、少数の授業レベルを越えて、より幅広い多数の授業におけるコンピュータの利用や協調学習の成立に寄与することができるであろう。そこで、6.3.において、概念的・認識論的・社会的領域の事例で検討してきた事柄を基に、コンピュータを利用した科学の協調学習を成立させるための原則的な知見について議論してみたい。

6.3. コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則

第1章で述べたように、Koschmann（1996）の定義によれば、CSCL研究は、学習者一人ひとりが行う個人的な学習というよりも、むしろ、複数の学習者が一緒に行う協調学習の支援を目的としている。ここでの学習は、学習者一人ひとりの頭の中で起こる個人的な営みというよりも、他者と協調することで成し遂げられる社会的な営みとして捉えられている。したがって、学習の内実を吟味する際には、その学習が行われる実践の文脈と切り

離すことはできないのである。それ故、CSCL研究では、「実践としての教育」が研究課題として設定されており、その使命は、教育実践そのものの改善に貢献できるような知見を導き出すことである。コンピュータを利用した科学の協調学習を成立させるための原則的な知見について議論することは、科学の授業の改善をその第一義的な目的としている科学教育研究の発展に寄与することでもあると考えられる。

また、第1章において、コンピュータを利用することにより協調学習を成立させる原則的な知見は、CSCLを取り巻く学際的な研究分野において「デザイン原則」と一般的に呼ばれている（三宅・白水，2003；大島，2004）ことも述べた。このデザイン原則の解明は、特に学習科学の分野において主要な研究テーマとされてきている。こうした動向を科学教育を対象としたCSCL研究に反映させることは、コンピュータを利用して学習者らが協調し合う科学の学習環境を、より精緻し発展させるためにも重要である。

さらに、第1章では、デザイン原則の解明という作業には、従来の要因統制という研究方法を脱却し、デザイン実験（Brown，1992；Collins，1992）という研究手法を採用することが要求されていることを述べた。デザイン実験では、これまでの学習研究の知見を授業デザインに反映させながら、それらの授業デザインが利用可能かを検討することでデザイン原則を明らかにすることが求められている（大島，2004）。

そこで、以降では、本研究で示してきた、概念的・認識論的・社会的領域に関する科学の授業デザインについて、Knowledge Forum 開発の理論的背景であり、Scardamalia（2002）によって体系化された「教室における知識構築の12の決定要因」と関連付けて検討することを通して、コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則の解明を試みる。

6.3.1. 教室における知識構築の決定要因

Scardamalia（2002）は、教室において知識構築が決定付けられる12の要因について、社会・認知的な原動力（Socio-cognitive dynamics）と Knowledge Forum が支援する技術的な原動力（Technological dynamics）から記述している。表6-1は、12の決定要因とそれぞれの原動力について示したものである。

教室における知識構築の12の決定要因とは、「現実のアイデア，真正の問題」，「改善できるアイデア」，「アイデアの多様性」，「超越」，「認識主体性」，「共同体の知識，集合的責任」，「知識の民主化」，「対称性を持つ知識の進歩」，「広範囲にわたる知識構築」，「権威あ

る情報源の建設的な利用」,「知識構築のための議論」,「埋め込まれた評価, 変容する評価」である。以下に, これら12の決定要因の社会・認知的な原動力とKnowledge Forumが支援する技術的な原動力について解説する。

「現実のアイデア, 真正の問題」が社会・認知的な原動力とされているのは, 次のような点においてである。教室における学習課題は, 学習者らが現実世界の現象や事象を理解しようとする真正の問題から生起するもので, 教科書に提示された問題を解くことやパズルを解くこととは異なるということ。また, こうした学習課題に取り組む学習者らによって作り出されるアイデアは真実性を有し, そのアイデアが利用されたり借用されたりすることによっても真実性が示される。Knowledge Forumが, 技術的な原動力として「現実のアイデア, 真正の問題」を支援しているのは, ノート書いたり, 他者のノートを読んだり, 引用したりすることを通して, 学習者らのアイデアの提出や利用・借用に関する営み, 学習共同体が知識構築を営むための文化を作り出すことに対してである。

「改善できるアイデア」は, 知識構築活動に参加する学習者に対し, 学習共同体内に提出されたアイデアが, いつでも改善可能なものであるという心理的な安全性を保障することで, 学習者がアイデアの質・一貫性・有用性を精緻していく活動を継続できる点において, 社会・認知的な原動力になる。Knowledge Forumは, いつでもノートの修正ができることで, 学習者のアイデアをより高次のレベルに導く技術的な原動力となり得る。Knowledge Forumでは, アイデアの改善・更新・理論の洗練をノートの修正という立ち返りの作業を通して技術的に支援することができる。

「アイデアの多様性」は, 学習者らが多様なアイデアを提出し, それらを学習共同体で理解し合ったり, 評価し合ったりすることで, 知識構築におけるアイデアの洗練が実現されるという点において, 社会・認知的な原動力となる。Knowledge Forumでは, アイデア同士を相互にリンクさせたり, 別々のノートやビューに書き込まれたアイデアを結合することができる。学習者らがこのような方法で, 学習者らの多様なアイデアの生産的な利用を技術的に支援し, その結果として, 学習者同士の相互作用を促進することができる。

「超越」は次の点において, 社会・認知的な原動力とされている。知識構築活動では, 包括的な原理・原則を見出したり, 問題をより高次に定式化したりするという活動が要求されるので, そこに参加する学習者は, アイデアを次第に高度な概念構造の中に埋め込んでいくことでアイデアを精緻する。学習者はアイデアに関する些細な事項への傾注や過度の単純化を超越しながら, アイデアを次第に高度な概念構造の中に埋め込んでいくのである。

表 6-1 教室における知識構築の決定要因 (Scardamalia, 2002)

決定要因	社会・認知的な原動力	技術的な原動力 (Knowledge Forum)
現実のアイデア, 真正の問題	学習課題は、学習者が現実世界を理解しようとする試みから生起する。生産されたアイデアや、利用・借用されたアイデアは、真実性がある。学習課題は教科書の問題やパズルとは異なる。	アイデアの提出や利用・借用に関する営み、学習共同体が知識構築を営むための文化を作り出すことを支援する。
改善できるアイデア	学習者は、アイデアの質・一貫性・有用性を向上させるために、継続的に努力をする。こうした努力が成功するには、すべてのアイデアはいつでも改善可能なものであるという心理的安全性を持つ文化が必要である。	Knowledge Forum は、いつでもノートの修正ができることで、学習者のアイデアをより高次なレベルに導く。
アイデアの多様性	学習者は、多様なアイデアを提出し、それらを理解しあったり、評価しあったりすることで、アイデアを洗練する。	Knowledge Forum は、アイデア同士を相互にリンクさせたり、別々のノートやビューに書き込まれたアイデアを結合することができ、多様なアイデアを生産的に利用できるような相互作用を促進する。
超越	知識構築活動では、包括的な原理・原則、問題のより高次な定式化という活動が要求される。学習者は、アイデアを次第に高度な概念構造の中に埋め込んでいくことでアイデアを精緻化する。	Knowledge Forum では、ノート同士をまとめたり、ビューをまとめたりする活動によって、アイデアを次第に高度な概念構造の中に埋め込むことを支援する。
認識主体性	学習者は、自分のアイデアを公表し、自分のアイデアと他者のアイデアを交渉する。交渉は、学習者のためにコースを計画してくれる教師に依存するのではなく、知識の進歩を起こしたり維持したりするプロセス自体を認識することを通して行われる。	Knowledge Forum は、学習者が理論構築したり、アイデアを洗練したり、関連はあるが異なっている他者のアイデアを考察したりする活動を支援し、高次なレベルの知的プロセスに学習者を導く足場かけを行うことができる。
共同体の知識 集成的責任	共有された目標に対する貢献は、個人の業績と同様に尊重され称賛される。学習者は、他者にとって価値のあるアイデアを作りだし、共同体における知識の全体的な進歩に対する責任を共有する。	Knowledge Forum は、オープンで協同的なワークスペースである。他者のノートを読むことや、他者のノートにビルドオンすること、ビューを共同体にとって有益なものにすることなどができる。
知識の民主化	すべての参加者は、知識の革新に従事するための権利を与えられる。	Knowledge Forumの分析ツールは、すべての学習者が知識構築空間の中心に入るための民主的な方法を支援する。
対称性を持つ知識の進歩	知識の進歩における対称性は、知識の交換や知識を提供することが、知識を獲得することであるという事実の結果として生じる。	Knowledge Forum では、共同体の内部や共同体間の知識構築空間を拡張することができる。拡張された社会的な文脈の中にアイデアを埋め込むことを推進する。

表 6-1 (続き) 教室における知識構築の決定要因 (Scardamalia, 2002)

広範囲にわたる知識構築	知識構築は特定の出来事や特定の主題に限定されておらず、学校の中や学校外での活動全面に広がっている。	Knowledge Forumは、共同体の付属品ではなく、共同体の中心的な力として、また、共同体を導く力として知識構築を促進する。
権威ある情報源の建設的な利用	ある領域の原則を知るには、その領域の現在の知識や最先端の知識に触れることが必要である。そのためには、権威ある情報源に対して、批評的な姿勢と結びついた敬意や理解を必要とする。	Knowledge Forumでは、他者の情報を自分のノートに引用したり、他者のノートに対して権威ある情報をビルドオンしたりすることができる。引用文献の情報は自動的に生成される。
知識構築のための議論	知識構築共同体の議論は、より知識を共有した結果として生じる。	Knowledge Forumは、各ノート間の相互性、また、共同体間において相互性のあるノートやビューを提供する。
埋め込まれた評価 変容する評価	評価は、知識を進歩させるための努力の一部である。評価は、問題を同定することに利用されるもので、評価の方法は活動の前進とともに変容する。	Knowledge Forumでは、ビルドオンやまとめあげる活動を通して、学習者の自己評価・他者評価を知識の進歩のベンチマークとして利用できる。

第6章 結論

こうした多様で複雑で、かつ、煩雑な作業を通して、知識の新たな統合が成し遂げられる。Knowledge Forumでは、ノート同士をまとめたり、ビューをまとめたりする活動によって、アイデアを次第に高度な概念構造の中に埋め込むことを支援し、定められた目標よりもむしろ、創発的な目標を支援する。

「認識主体性」は、次の点において、社会・認知的な原動力とされている。学習者は、自分のアイデアを公表し、自分のアイデアと他者のアイデアを交渉するという知識構築活動を行う。その際、学習共同体に参加する学習者が、学習課題における目標・動機・評価・長期的な計画といった普段であれば教師が準備するであろう事柄を学習者自身が扱うことで、知識の進歩を引き起こしたり維持したりするプロセス自体の認識を高めるのである。Knowledge Forumでは、学習者が理論を構築したり、アイデアを洗練したり、関連はあるが異なっている他者のアイデアを考察したりする活動を支援することで、学習課題における目標・動機・評価・長期的な計画といった、高次の知的プロセスに学習者を導く足場かけを行うことができる。

「共同体の知識、集合的責任」は、共同体で目標としている事柄に対する貢献が共同体の知識として個人の業績と同様に尊重され称賛されるものであり、学習共同体の参加者は他者にとって価値のあるアイデアを作り出し、共同体における知識の全体的な進歩に対する責任を共有するという点において、社会・認知的な原動力となる。Knowledge Forumは、オープンで協同的なワークスペースであり、学習者が貢献した知識を維持する場所として、共同体の知識構築活動を支援している。また、Knowledge Forumでは、他者のノートを読むことや、他者のノートにビルドオンすること、ビューを共同体にとって有益なものにすることなどができるので、共同体に参加する学習者すべてが共有している責任は、その活動への貢献として評価されることが可能である。

「知識の民主化」は、共同体の知識構築活動において、アイデアの多様性や相違が学習者の知識の所有と非所有、革新者と非革新者といった二分法で評価されるのではなく、それらは、知識の革新という活動に従事する参加者の権利となる点において、社会・認知的な原動力となる。Knowledge Forumでは、分析ツールの使用により、知識構築活動に参加している学習者の貢献の均等性を評価することや、すべての参加者が知識構築活動において担っている活動の程度を指標とした評価を支援している。この支援は、すべての学習者が知識構築空間の中心に入るための民主的な方法となり得る。

「対称性を持つ知識の進歩」は、知識の交換や知識の提供が、知識を獲得することである

という事実の結果として、知識の進歩における対称性が生じるというものである。すなわち、知識の熟達は、知識構築共同体の内部、また、知識構築共同体間で、知識の交換や提供をし合うという活動を通して生じるという点において、社会・認知的な原動力になる。Knowledge Forumでは、共同体内部のグループ同士や他の共同体同士が、それぞれの知識構築空間を訪問できるようビューを構成することができる。こうした知識構築空間を訪問することは、さらに拡張された社会的な文脈の中にアイデアを埋め込むという活動を支援するものである。

「広範囲にわたる知識構築」は、知識構築活動が特定の出来事や特定の主題に限定されるものではなく、学校の中や学校の外での学習者の活動全面に広がっている点において、社会・認知的な原動力となる。Knowledge Forumは、共同体の知識構築活動において、付属品としてその役割を担うものではなく、知識構築のための中心的な力として、また、知識構築を導く力としての役割を担うものとして位置付く。

「権威ある情報源の建設的な利用」は、次の点において、社会・認知的な原動力とされている。ある領域の原則を知るには、その領域の現在の知識や最先端の知識に触れることが必要となる。さらに、そうした権威ある情報を建設的に利用するには、その情報を批判的に見るという姿勢を伴った情報源に対する敬意と理解が必要とされる。Knowledge Forumでは、学習者は、彼／彼女らにとって権威のある他者の情報を自分のノートに引用したり、他者のノートにそういった権威ある情報をビルドオンしたりすることができる。引用文献の情報は、引用元から自動的に生成されるようになっている。

「知識構築のための議論」は、次の点において、社会・認知的な原動力となる。知識構築共同体においては、学習者同士がより知識を共有した結果として議論が生じる。この事実から、知識を変化させ洗練させていくための議論は、共同体で展開される知識の進歩を明確な目標とした実践を通して行われる。Knowledge Forumでは、各ノート間の相互性、また、共同体間において相互性のあるノートやビューを提供することで、知識構築のための議論を支援・促進している。

「埋め込まれた評価、変容する評価」は、評価が知識を進歩させるための努力の一部であるという観点から、社会・認知的原動力となる。知識構築共同体において、評価は問題を同定することに利用されるものであり、知識構築のプロセスに埋め込まれているので、その評価方法は活動の前進とともに変容していくものである。Knowledge Forumでは、ビルドオンやアイデアを次第に高度な概念構造の中に埋め込んでいく活動を通して、学習者

の自己評価・他者評価を知識の進歩のベンチマークとして利用することを支援する。

以上、Scardamalia (2002) が示した、教室における知識構築の12の決定要因について、その社会・認知的な原動力とKnowledge Forumが支援する技術的な原動力について解説してきた。6.3.2.では、本研究における科学の概念的・認識論的・社会的領域に関する授業デザインが、12のどの要因を反映しているかを示す。Scardamaliaの教室における知識構築の12の決定要因を科学の学習と関連付けて検証することは、科学を対象とした授業のデザインにこの枠組みが有効であるか否かを明瞭にする作業である。こうした、理論と実際の授業実践から得た事実との橋渡しをすることは、まさに、コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるためのデザイン原則を解明する作業に必要なのである。

6.3.2. コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させる授業デザインに有効な要因の検討

本研究で、科学の学習における概念的・認識論的・社会的領域の代表事例として示した3つの授業デザインは、Scardamalia (2002) が示した、教室における知識構築の12の決定要因に照らし合わせたとき、どの要因を反映できていたのだろうか。6.3.2.では、本研究で実施した実験授業から得られた結果を12の決定要因と関連付け、科学教育における知識構築の決定要因の提示を試みる。Scardamalia (2002) の12の知識構築の決定要因は、科学教育に特化したものではない。6.3.2.の目的は、科学教育を対象とした事例研究から得られた知見を基に、コンピュータを利用した科学の協調学習を成立させるための授業デザインに有効な要因を導き出すことである。以下では、概念的・認識論的・社会的領域のそれぞれの授業デザインについて、図6-1に示した12の決定要因との関連を示し、さらに、具体的に科学教育に特化した知識構築の決定要因について述べる。

(1) 概念的領域の授業デザインと知識構築の決定要因

概念的領域に関する授業デザインでは、「現実のアイデア、真正の問題」、「改善できるアイデア」、「超越」、「共同体の知識、集合的責任」、「対称性を持つ知識の進歩」、「広範囲にわたる知識構築」の6つの要因を反映できていた。この領域でデザインした授業は、「動物の発生と成長」を題材とした単元で、ヒトに関する既習知識をベースに、新規の学習内容である「ヒト以外の動物の発生と成長」について、学習者のアナロジーを誘発し、その結

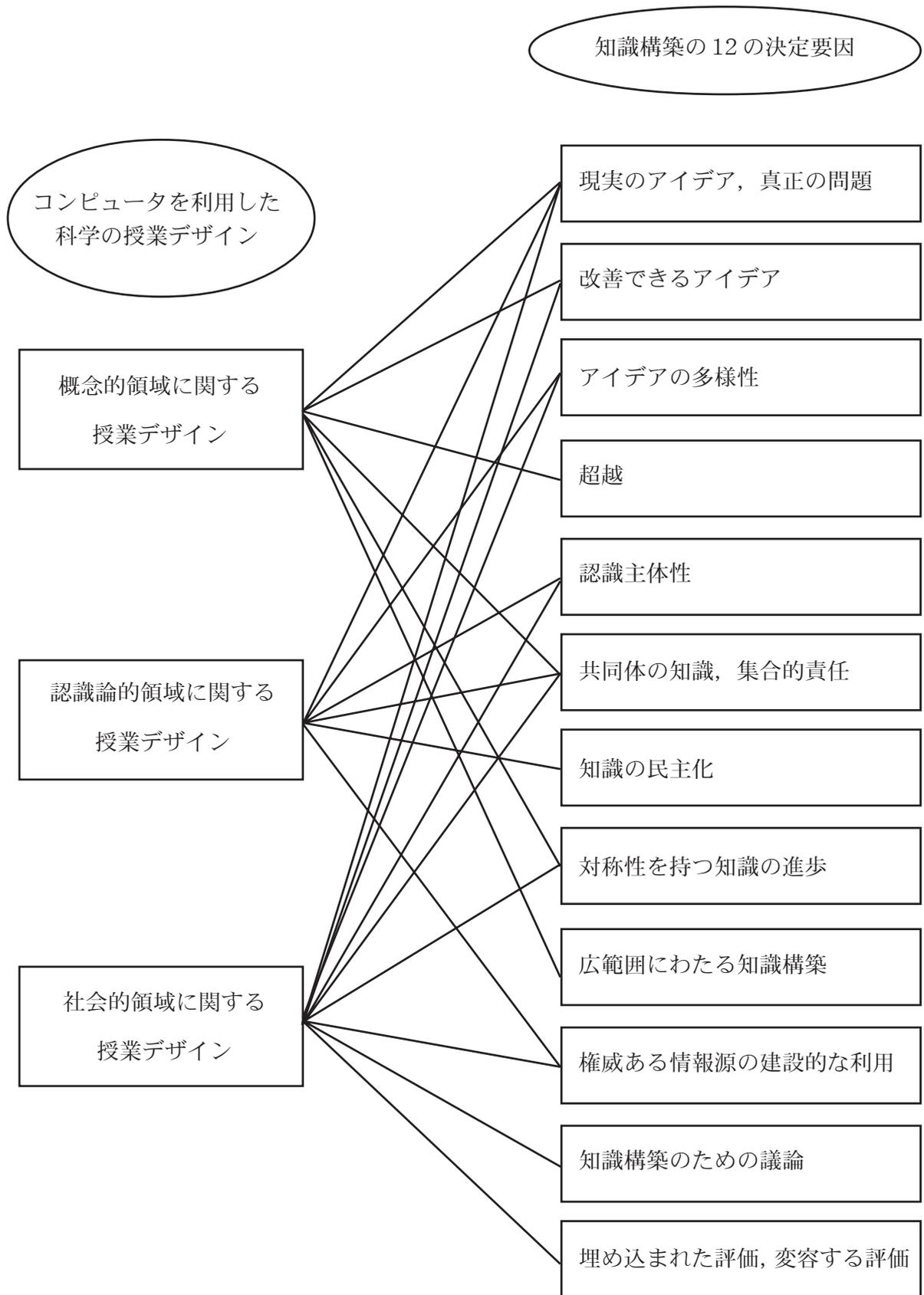


図6-1 科学の学習における授業デザインと知識構築の12の決定要因の関連

果としてヒト以外の動物の発生と成長に関する理解深化を目指したものであった。また、そのためのコンピュータを利用した学習環境として、Knowledge Forumのシステム・デザインを工夫し、学習者がベースドメインとターゲットドメインのマッピングを確実に行えるよう、2つのドメインをコンピュータ上に並置することで、領域横断的にアクセスできるようにした。

表6-2には、概念的領域における知識構築の決定要因を示している。以下では、それぞれの要因について、概念的領域でデザインした実験授業の具体的な事実に基づいて記述する。

現実のアイデア，真正の問題：子どもたちが、動物の発生と成長に関するメカニズムを教えられて習得するような学習活動ではなく、子どもの素朴生物学に関する研究を背景とした課題を設定し、子どもたちの素朴概念が科学的に妥当なものへと変化することをねらいとした学習活動を展開した。Knowledge Forumのデータベースには、ベースドメインとターゲットドメインのクリックابلマップを並置することで、子どもたちは両者を領域横断的に自由にアクセスできた。

改善できるアイデア：子どもたちは、ターゲットドメインに関して当初持っていた考えを改善させながら学習を進行した。また、子どもたちの考えの改善はKnowledge Forum上のノートを読むことで生起していた。

超越：子どもたちは、ターゲットドメインについての学習を進めていく中で、ベースドメインとのマッピングを行うという複雑な作業を通して、動物の発生と成長に関する理解を高次なものへと変化させており、そこでは、知識の新たな統合が生起していた。マッピングは、Knowledge Forumのベースドメインとターゲットドメインのビューを行き来する中で行われていた。

共同体の知識，集合的責任：子どもたちは、ベースドメインの知識をKnowledge Forumのデータベースに作成した。この知識は、ターゲットドメインの学習を進めるにあたって、共同体で共有する有益な知識となった。

対称性を持つ知識の進歩：子どもたちは、ベースドメインに知識を提供するとともに、それらの知識を利用しながらターゲットドメインに関する新たな知識を構築していた。Knowledge Forumの中で、子どもたちは知識構築空間を拡張しながら理解を深化させていた。

広範囲にわたる知識構築：授業デザインは、子どもたちが日常において構築する素朴概

表 6-2 概念的領域における知識構築の決定要因

決定要因	社会・認知的な原動力	技術的な原動力 (Knowledge Forum)
現実のアイデア, 真正の問題	学習者の素朴概念に関する先行研究を背景とし、素朴概念を科学的に妥当な概念に導くことをねらいとする授業のデザイン。	Knowledge Forum は、アナロジーを誘発させる目的で、ベースドメインとターゲットドメインを学習者が横断的に行き来できる環境を提供することができる。
改善できるアイデア	素朴概念を科学的に妥当な概念に改善する過程を支援するデザイン。	Knowledge Forum では、他者のノートを参考にしながらアイデアの改善をはかることができる。
超越	ベースドメインとターゲットドメインとのマッピングという複雑な作業を通して、学習者が理解を高次なものへと変化させ、知識の新たな統合が生起するような授業デザイン。	Knowledge Forum では、学習者のマッピング作業を支援することができる。
共同体の知識 集合的責任	共同体で共有できるベースドメインの知識を利用して、学習を進めることが可能な授業のデザイン。	Knowledge Forum では、データベースに作成したベースドメインの知識を共同体で共有することを支援できる。
対称性を持つ知識の進歩	学習者が、ベースドメインの知識を提供するとともに、それらの知識を利用しながらターゲットドメインに関する新たな知識を構築できる授業デザイン。	Knowledge Forum は、ベースドメインからターゲットドメインへと、学習者の知識構築空間の拡張を支援することができる。
広範囲にわたる知識構築	学習者が日常において構築する素朴概念と科学的に妥当な知識を交渉させる活動を促進する授業デザイン。	Knowledge Forum は、共同体における知識の交渉を促進することができる。

念と科学的に妥当な知識を交渉させる活動を促進するものであった。こうした活動を Knowledge Forum の中で実現できていた。

(2) 認識論的領域の授業デザインと知識構築の決定要因

認識論的領域に関する授業デザインでは、「現実のアイデア、真正の問題」、「アイデアの多様性」、「認識主体性」、「共同体の知識、集合的責任」、「知識の民主化」、「権威ある情報源の建設的な利用」の6つの要因を反映できていた。この領域では、学習における情報検索の支援という観点からデザインを変更した2つの実験授業について検討した。一つは「物の燃え方と空気」を題材とした単元で、もう一つは、「水溶液の性質」を題材とした単元であった。2つの実験授業では、「科学的な探究活動の方法」、「他者の知識の参照を必要とする活動の設定」、「学習履歴の表現方法」、「学習履歴の活用方法」の4点を情報検索を支援する変数として修正し、知識構築型の情報検索の促進を目指した。

表6-3には、認識論的領域における知識構築の決定要因を示している。以下では、それぞれの要因について、認識論的領域でデザインした実験授業の具体的な事実に基づいて記述する。

現実のアイデア、真正の問題:「物の燃え方と空気」の授業デザインでは、燃焼の仕組みについての知識を与えられて知るのではなく、仮説を立てそれを検証するという実験を通して、理解を深めることを目指した。また、「水溶液の性質」では、身の回りに存在する水溶液の性質を調べる中で、身近な水溶液にも人体に危険な物があることや、人間が口でできる水溶液のpH値はある一定の幅があることから、クラス独自のpHスケールを作成するという課題を見出し、それを解決した。Knowledge Forum は、これらの活動の中で、子どもたちがアイデアを提出できる空間として利用されていた。特に、子どもたち自身が課題を見出し解決を試みた「水溶液の性質」では、他者のノートの参照が必要となる活動を取り入れたことで、自己のアイデアの提出だけでなく、他者のアイデアの利用を促進した。

アイデアの多様性:「物の燃え方と空気」では11の仮説が提出され、それを検証するための実験の方法・結果・考察・実験の見直しでは、様々なアイデアが出された。「水溶液の性質」では、子どもたちは、身近な水溶液について多数の調査結果を報告し合うとともに、他者の報告にも注意を向けることができた。「物の燃え方と空気」では、Knowledge Forum に、仮説の提案、実験の計画・結果・考察を相互に関連付けながら提示することができた。「水溶液の性質」では、他者のノートの利用も実現され、共同体内での相互作用が生

表 6-3 認知的領域における知識構築の決定要因

決定要因	社会・認知的な原動力	技術的な原動力 (Knowledge Forum)
現実のアイデア, 真正の問題	学習者自身が課題を見出すことができる授業デザイン。 (燃焼現象に関する実験を伴う仮説検証型の授業デザインと身の回りの水溶液に関する調査探究型の授業デザインでは、調査探究型の方が学習者自身の課題の発見を促進できる。)	Knowledge Forum は、学習者がアイデアを提出する空間を提供できる。特に、他者のノートの参照が必要となるような授業デザインにおいては、自己のアイデアの提出だけでなく、他者のアイデアの利用を促進できる。
アイデアの多様性	多様なアイデアに関して知識構築型の情報検索が促進されるような授業デザイン。 (仮説検証型の授業デザインと調査探究型の授業デザインとともに、学習者は多様なアイデアを提出することができる。グループ別の調査探究型の授業デザインでは、さらに、これらの多様なアイデアに関して共同体内での相互作用が促進される。)	Knowledge Forum は、仮説検証型の授業デザインでは、仮説の提案、実験の計画・結果・考察の関連付けを支援することができる。調査探究型の授業デザインでは、他者のノートを利用することにより、知識構築型の情報検索を支援することができる。
認識主体性	他者の知識に注目し、自己と他者の知識の交渉ができる授業デザイン。 (調査探究型の授業デザインでは、自己の調査報告を提出するとともに、他者の報告にも注意を向けることで、それらを交渉させ、新たな課題を見出すことができる。)	Knowledge Forum では、他者のノートを読むことで、自己と他者の知識を交渉させる活動を支援することができる。
共同体の知識 集会的責任	学習者が提出するアイデアは、共同体における共有の学習リソースであるという認識を持たせる授業デザイン。	調査探究型の授業デザインでは、Knowledge Forum のデータベースに書かれたノートが、共同体における協調的な知識構築のためのリソースであるという認識を高めることができる。
知識の民主化	学習課題の共通理解を促がし、知識構築活動への参加意識と参加への権利意識を高めることができる授業デザイン。	Knowledge Forum では、学習履歴を付加すること、その表現方法や利用方法を工夫することで、学習課題の共通理解の促進を支援することができる。
権威ある情報源の建設的な 利用	共同体に提出された知識を吟味する活動を取り入れた授業デザイン。	Knowledge Forum では、共同体で構築したデータベースの中から、より妥当な情報を選択するという検索活動を支援できる。

起していた。

認識主体性:「水溶液の性質」では、自己の調査報告を提出するとともに、他者の報告にも注意を向けることで、それらを交渉させ、新たな課題を見出すことができていた。こうした活動は、Knowledge Forumの他者のノートを読むことで実現された。

共同体の知識, 集合的責任:「水溶液の性質」では、子どもたちによってKnowledge Forumのデータベースに書かれたノートの内容が、共同体における共有の学習リソースであるという認識を持つ傾向にあった。

知識の民主化:「物の燃え方と空気」, 「水溶液の性質」共に、学習履歴を作成することで、すべての子どもたちが学習活動をふりかえりながら前進していけるように工夫した。しかし、毎時間のはじめに、教師主導ではあるものの学習履歴をクラスで共有するという活動を取り入れた「水溶液の性質」の方が、学習課題の共通理解を促すことができた点において、知識構築活動への参加意識と参加への権利意識を高めることができていたと推察できる。それは、「水溶液の性質」の方が、結果として、共同体の学習に対する集合的責任が向上していたことに示されている。

権威ある情報源の建設的な利用:pHスケールの作成にあたって、Knowledge Forumのデータベースに多数提出されたノートの中からどのノートを利用するかという議論において、子どもたちはより妥当な情報を選択するという活動ができていた。

(2) 社会的領域の授業デザインと知識構築の決定要因

社会的領域に関する授業デザインでは、「現実のアイデア, 真正の問題」, 「改善できるアイデア」, 「アイデアの多様性」, 「認識主体性」, 「共同体の知識, 集合的責任」, 「対称性を持つ知識の進歩」, 「権威ある情報源の建設的な利用」, 「知識構築のための議論」, 「埋め込まれた評価, 変容する評価」の9つの要因を反映できていた。この領域では、CSCLシステムを導入した学習環境において、学習者同士のオンライン上の相互作用とオフライン上の相互作用について明らかにし、共同作業場面における学習者同士のコミュニケーションについて検討してきた。そのための授業デザインでは、「物の溶け方」を対象とした単元において、ミョウバンの結晶づくりを活動として設定した。ミョウバンの結晶を「大きくて透明で正八面体」にするための条件を見出して行くことが活動の目標であり、シミュレーションやKnowledge Forumのデータベースに記録された他班の実験に関するノートを参考にしながら、目標を達成できるような工夫をした。

表6-4には、社会的領域における知識構築の決定要因を示している。以下では、それぞれの要因について、社会的領域でデザインした実験授業の具体的な事実に基づいて記述する。

現実のアイデア, 真正の問題: 授業デザインは、水溶液に物が溶けることや、溶けた物が析出するという現象について教えられて知るのではなく、ミョウバンの結晶づくりという具体的な活動を通じた科学的な理解深化をねらいとしたものであった。子どもたちは、Knowledge Forumの他者のノートを利用しながら、ミョウバンの結晶づくりの条件を洗練させることができていた。

改善できるアイデア: ミョウバンの結晶づくりでは、課題である「大きくて透明で正八面体」の結晶にするための条件を見出していく過程において、水とミョウバンの量、水の温度、糸の長さ、種結晶の有無などの変数について、考えを改善しながら学習を前進させていった。Knowledge Forumのデータベースには、こうした考えの改善の足跡が残された。

アイデアの多様性: ミョウバンの結晶づくりの条件において、多様な操作変数の組み合わせが存在し、子どもたちはそれらの多様な組み合わせについて様々なアイデアを提出するとともに、他者のアイデアにも注目していた。また、グループ内のコミュニケーションに他者のアイデアを利用することができていた。他者のアイデアに注目し結晶づくりの条件を洗練させることができたことは、子どもたちがKnowledge Forum上で、条件に関する多様なアイデアを生産的に利用していたことを示している。

認識主体性: 子どもたちは、自分たちの班の実験の計画・結果・考察をKnowledge Forumのデータベースに公表し、また、他者のそれらと交渉することで、自分たちの班の実験の条件を洗練させていった。その過程では、自分たちの班が解決すべき課題はどういったもので、それを解決するためにはどのようなことをすべきかを考えることができていた。

共同体の知識, 集合的責任: Knowledge Forumのデータベースに蓄積した実験の計画・結果・考察のノートは、クラス全体で共有され、子どもたちはそれらをリソースとして活用することができていた。

対称性を持つ知識の進歩: 子どもたちは、互いのミョウバンの結晶づくりについて提出した条件とその実験結果、また、その時点で解決すべき問題などを交換し合いながら課題の解決に取り組んだ。Knowledge Forumを利用することで、子どもたちは知識構築のための空間を拡張し、自班のアイデアだけでなく、他班のアイデアと自班のアイデアを交換

表 6-4 社会的領域における知識構築の決定要因

決定要因	社会・認知的な原動力	技術的な原動力 (Knowledge Forum)
現実のアイデア, 真正の問題	科学的な現象について具体的な条件操作を伴う実験から, 科学的な理解深化を促す授業デザイン.	Knowledge Forum では, 自己の条件の提出や他者の条件の利用を支援する学習空間を提供することができる.
改善できるアイデア	具体的な条件操作が重要な要因となつて, 科学的な現象の変化を見ることができるよう活動を取り入れた授業デザイン.	Knowledge Forum のデータベースでは, 取り扱った変数の変移を時系列に記録でき, 自己や他者の考えの改善の過程を省みることが支援することができる.
アイデアの多様性	多様な操作変数の組み合わせについてアイデアを提出したり, 他者のアイデアを生産的に利用することで, コミュニケーションや理解が深まるような授業デザイン.	Knowledge Forum では, 学習者が多様なアイデアを生産的に利用することを支援できる.
認識主体性	自己のアイデアと他者のアイデアとを交渉させる過程において, 科学的な理解を促進したり, 解決すべき課題や方法を思考させるような授業デザイン.	Knowledge Forum では, アイデア同士の交渉を支援することができる.
共同体の知識, 集合的責任	共同体に提出されたアイデアが科学的な理解のための共有リソースとして利用されるような授業デザイン.	Knowledge Forum に提出されたノートは, 共同体のリソースとして活用することができる.
対称性を持つ知識の進歩	学習者同士が, 解決すべき問題などを交換し合いながら, 課題の解決に取り組める授業デザイン.	Knowledge Forum は, 学習者が問題解決過程において, 自己や他者のアイデア同士を交換することで, 知識構築空間を拡張するための支援ができる.
権威ある情報源の建設的な 利用	問題解決過程の条件操作において, 他者が共同体に提出した変数を科学的に妥当かという観点から吟味できる授業デザイン.	Knowledge Forum は, そこに提出された変数を共同体で共有し, 科学的に妥当かを確認するなど, 提出された知識の利用を促進することができる.
知識構築のための議論	オフライン上の議論を活性化させるような授業デザイン.	学習者は, Knowledge Forum 上のオンライン上の知識リソースを活用して, オフライン上の議論を活性化することができる.
埋め込まれた評価, 変容する評価	活動の中において, 自己や他者の提出したアイデアの評価が繰り返し必要となる授業デザイン. また, その評価が次のアイデアに反映されるような授業デザイン.	Knowledge Forum では, 評価とその評価が反映された新しいアイデアをビルドオンノートとして積み重ねていくことを支援することができる.

し合いながら、課題の解決に取り組むことができた。

権威ある情報源の建設的な利用:ミョウバンの結晶づくりにおける条件の洗練過程では、その時点で比較的良い結果を出している班の操作変数値に注目したり、シミュレーションが示す科学的に妥当な操作変数の値を利用したりしていた。

知識構築のための議論:子どもたちは、Knowledge Forum のオンライン上の知識リソースを活用して、オフライン上の議論を活性化してした。

埋め込まれた評価, 変容する評価:授業では、結晶づくりの実験を3回繰り返した。実験を繰り返しながら条件を洗練する過程においては、自班の提出した条件をそのつど評価するとともに、他班の条件についても評価しつつ、自分たちのアイデアに反映させていくための活動が行われていた。子どもたちは、Knowledge Forum のノートにビルドオン機能を利用して、新しいアイデアを反映させることができた。

以上のように、コンピュータを利用した科学の協調的な学習において、概念的領域と認識論的領域では、Scardamalia (2002) が示した教室における知識構築の12の決定要因のうち6つを、社会的領域では9つを反映していた。反映している要因は領域個々によって異なっているものの、科学の教授・学習研究が取り扱う概念的・認識論的・社会的領域全体では、図6-1に示したように、知識構築の12の決定要因すべてを反映していた。

また、概念的・認識論的・社会的領域のそれぞれにおいて、知識構築の12の決定要因を科学教育の側面から捉え直すことができた。学習者の知識構築は学習活動において主要な役割を果たすものである。こうした知識構築活動をコンピュータを用いた科学の協調的な学習において生起させるための背景理論として、「現実のアイデア、真正の問題」、「改善できるアイデア」、「アイデアの多様性」、「超越」、「認識主体性」、「共同体の知識、集合的責任」、「知識の民主化」、「対称性を持つ知識の進歩」、「広範囲にわたる知識構築」、「権威ある情報源の建設的な利用」、「知識構築のための議論」、「埋め込まれた評価、変容する評価」の12の要因は有効であると言える。

6.3.2.では、コンピュータを利用した科学教育における協調学習を成立させるための原則的な知見について議論してきた。その中で、学習の背景にある理論と、実際の実験授業を通じた事例研究から得た事実との橋渡しをすることで、科学教育における知識構築活動の要因を提示したことは、科学教育を対象としたCSCL研究に寄与できるものであったと結論することができる。

6.4. 今後の課題と展望

今後の課題としては、(1)「コンピュータを利用した科学教育の協調学習におけるデザイン原則の再現性の追及」、(2)「科学教育のCSCL研究に携わる研究者や実践者の協力による、より一般性の高いデザイン原則の同定」の2つを見出すことができる。

(1) コンピュータを利用した科学教育の協調学習におけるデザイン原則の再現性の追及

Scardamalia (2002) が示した12の知識構築の決定要因は、科学教育に特化したものではない。今後、コンピュータを利用した科学の学習研究を継続し、本研究で考察してきたような議論を繰り返しながら、12の中でも科学の学習にとってより有効な要因というものがあるのかといったことや、12の要因が科学の学習においてはさらに集約される方が適切であるかといったことを検討する必要があると思われる。また、本研究では、科学の教授・学習研究が扱う「概念的・認識論的・社会的領域」の3つの領域について検討してきたが、これらの領域において他の単元を対象としたデザイン実験を実施し、その領域において何度でも繰り返し効果を得られる再現性のある要因を提示することも必要であろう。

(2) 科学教育のCSCL研究に携わる研究者や実践者の協力による、より一般性の高いデザイン原則の同定

第1章で述べたように、科学教育のCSCL研究に携わる研究者や実践者が協力し、個々の研究から明らかにされたデザイン原則を総動員して、それらを比較・統合する試みが必要である。こうした試みを通して、より一般性の高いデザイン原則を導き出すことができれば、科学教育のCSCL研究は、科学教育研究の発展に対して大きく貢献できると考えられる。

前述のように、コンピュータを利用した科学の協調学習を成立させるためのデザイン原則について議論することは、科学の授業改善を第一義的な目的としている科学教育研究の発展に寄与することでもある。本研究では、デザイン実験の手法を用いたCSCLの教育実践を通して、科学教育における協調的な学習のあり方を検討してきた。こうしたCSCLシステムの科学教育への適用は、非常に意義のあるものである。なぜなら、本来、科学という知的活動が協調的な活動であるに他ならないからである。本研究で見出された2つの課題について、今後、議論を発展させることは、コンピュータを利用した科学の協調学習の質を向上させることみならず、科学教育そのものの質を向上させることにも貢献しうであろう。

引用文献

- Akahori, K., Yokoyama, S., & Sakakibara, Y. : Development of software to simulate the appearance of the moon and the sun and its use in Japanese school overseas. *Journal of Science Education in Japan*, 16(3), 105–114, 1992.
- Andaloro, G., Bellomonte, L., Lupo, L., & Sperandeo-Mineo, R. M. : Construction and validation of a computer-based diagnostic module on average velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 53–63, 1994.
- 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.
- Bell, P., & Linn, M. C. : Scientific arguments as learning artifacts: designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797–817, 2000.
- 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.)
- Carbonell, J. R. : AI in CAI: an artificial-intelligence approach to computer-assisted instruction. *IEEE Trans. Man-Machine Systems*, MMS-11(4), 190–202, 1970.
- 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*. New York: Springer-Verlag, 15–

引用文献

- 22, 1992.
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. : Design Research : theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13 (1), 15-42, 2004.
- 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*. Portsmouth, NH: 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.
- Davis, E. A., & Linn, M. C. : Scaffolding students' knowledge integration: prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 819-837, 2000.
- Dori, Y. J., & Barnea, N. : In-service chemistry teachers' training: the impact of introducing computer technology on teachers' attitude and classroom implementation. *International Journal of Science Education*, 19(5), 577-592, 1997.
- 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*. Oxford: 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., & Joshua, S. : Analogies and "modeling analogies" in teaching: some examples in basic electricity. *Science Education*, 73(2), 207-224, 1989.
- Duschl, R. A. : A perspective on research in science education. *Paper presented at DFG-NSF International Workshops on Research and Development in Mathematics and Science Education 2003*, Kiel, Germany, March 5-8, 2003. [<http://geoweb.tamu.edu/Faculty/Herbert/03Kiel/papers.html>]
- Edelson, D. C. : Learning-for-Use: a framework for the design of technology-supported inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 355-385, 2001.
- Fraser, B. J., & Tobin, K. G. (Eds.) : *International Handbook of Science Education (Part One)*, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- Fretz, E. B., Wu, H., Zhang, B., Davis, E. A., Krajcik, J. S., & Solloway, E. : An

- investigation of software scaffolds supporting modeling practice. *Research in Science Education*, 32(4), 567-589, 2002.
- 福田健：類推と比喻—学習と理解からみた類推と比喻—，児童心理学の進歩—1997年版—，金子書房，53-77.
- 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*. Mahwah, NJ: 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*. Mahwah, NJ: 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.
- Hafner, R., & Stewart, J. : Revising explanatory models to accommodate anomalous genetics phenomena: problem solving in the "context of discovery". *Science Education*, 79(2), 111-146, 1995.
- 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.
- 平賀伸夫，大野浩史，福地昭輝：個別学習へのコンピュータの利用—中学校における粒子概念の学習を通して—，科学教育研究，17 (4)，168-174，1993.
- Hoadley, C. M., & Linn, M. C. : Teaching science though online, peer discussions: SpeakEasy in Knowledge Integration Environment. *International Journal of Science Education*, 22(8), 839-857, 2000.
- Hoffman, J. L., Wu, H., Krajcik, J. S. & Soloway, E. : The nature of middle school learners' science content understandings with the use of on-line resources. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 323-346, 2003.
- Holliday, W. G., & McGuire, B. : How can comprehension adjunct questions focus students' attention and enhance concept learning of a computer-animated science learning? *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 3-15, 1992.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. : *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*. MIT

引用文献

- 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.)
- 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.
- 稲葉晶子, 豊田順一: CSCLの背景と研究動向, 教育システム情報学会誌, 16 (3), 166-175, 1999.
- 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.
- 稲垣成哲: 知識・状況・学習: 議論のアリーナへの招待, 理科の教育, 47 (6), 58-59, 1998.
- 稲垣成哲, 中山迅, 森藤義孝, 山口悦司, 吉岡有文, 遠西昭寿: 知識・状況・学習: 問い直される自然認識研究, 理科の教育, 46 (6), 56-59, 1997.
- 稲垣成哲, 大島純, 大島律子, 中山迅, 村山功, 山口悦司, 竹中真希子: CSCLシステムを用いた知識構築カリキュラムのデザイン, 日本科学教育学会第24回年会論文集, 143-144, 2000.
- 石原敏秀, 安藤雅夫, 竹中洵治, 森幸雄: 物理教材用問題解決基本プロセスを用いたCAIコースウェア, 科学教育研究, 16 (1), 9-17, 1992.
- 石塚学, 李英淑, 青山和裕, 磯田正美: 数学用携帯端末による数学コミュニケーション環境の開発試行研究, 科学教育研究, 26 (1), 91-101, 2002.
- 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.
- Kolodner, J.L., & Nagel, K. : The Design Discussion Area: a collaborative learning tool in support of learning from problem-solving and design activity. *Proceedings of Computer Support for Collaborative Learning 1999*, 300-307, 1999.
- Koschmann, T. D. (Ed.) : Computer support for collaborative learning: experience, theory and design [Special issue]. *ACM SIGCUE Outlook*, 21(3), 1992.
- Koschmann, T. D. : Toward a theory of computer support for collaborative learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(3), 219-225, 1994.
- Koschmann, T. : Paradigm shifts and instructional technology: an introduction. In T. Koschmann (Ed.) : *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, 1-23, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1996.
- Koschmann, T. Hall, R. & Miyake, N. (Eds.) : *CSCL2: Carrying Forward the Conversation*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.
- Koschmann, T., Newman, D., Woodruff, E., Pea, R., & Rowley, P. : Technology and pedagogy for collaborative problem solving as a context for learning: report on a CSCW' 92 workshop. *ACM SIGCHI Bulletin*, 25(4), 57-60, 1993.
- Kozma, R. B. : Students collaboration with computer models and physical experi-

- ments. *Proceedings of Computer Support for Collaborative Learning 1999*, 314-322, 1999.
- 楠房子, 杉本雅則, 稲垣成哲, 高時邦宜: 知識の物理世界での実践を通して他者との議論を促進するグループ活動支援システム, *科学教育研究*, 26 (1), 34-41, 2002.
- LeTUS Project: *LeTUS Project*, 2004. [<http://www.letus.org>]
- Linn, M. C., & Hsi, S. (Eds.): *Computers, Teachers, Peers: Science Learning Partners*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000.
- Linn, M. C., Davis, E. A., & Bell, P. (Eds.): *Internet Environments for Science Education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2004.
- 益川弘如: 協調学習支援ノートシステム「ReCoNote」が持つ相互リンク機能の効果, *日本教育工学会論文誌*, 23 (2), 89-98, 1999.
- 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, 財団法人放送大学教育振興会, 2003.
- 宮脇亮介, 杉小百合: 力学の理解を援助するコンピュータゲームの設計について, *日本理科教育学会研究紀要*, 33 (3), 69-77, 1993.
- 森藤義孝: 知識・状況・学習: 状況的認知論者の理科教育論に対する教育構成主義者のコメント, *理科の教育*, 47 (6), 60-63, 1998.
- Nachmias, R., Stavy, R., & Avrams, R.: A microcomputer-based diagnostic system for identifying student' conception of heat and temperature. *International Journal of Science Education*, 12(2), 123-132, 1990.
- 永井正洋, 白木克也, 越川浩明, 赤堀侃司: Web上の知識マップを用いた数学的問題解決とその過程の分析, *科学教育研究*, 26 (1), 78-90, 2002.
- 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: 語りを誘発する学習環境のエスノグラフィー, *日本教育工学雑誌*, 23 (1), 23-35, 1999.
- 中原淳, 前迫孝憲, 永岡慶三: CSCLのシステムデザイン課題に関する一検討: 認知科学におけるデザイン実験アプローチに向けて, *日本教育工学雑誌*, 25(4), 259-267, 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, 井藤亨: 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.
- 中根信一, 正司和彦: 話し合いを支援するネットワーク学習環境の開発と授業実践, *日本*

引用文献

- 教育工学雑誌, 25 (Suppl.), 77-82, 2001.
- 中山迅: 知識・状況・学習: 科学概念の比喩的な構成, 理科の教育, 47 (8), 56-59, 1998.
- 日本理科教育学会編: キーワードから探るこれからの理科教育, 東洋館出版社, 1998.
- 日本理科教育学会編: これからの理科教育実践への提案 理科ハンドブック1, 東洋館出版社, 2002.
- 西森年寿, 中原淳, 杉本圭優, 浦島憲明, 荒地美和, 永岡慶三: 遠隔教育における役割を導入した討論を支援するCSCLの開発と評価, 日本教育工学雑誌, 25 (2), 103-113, 2001.
- 岡本敏雄: CSCW/L Computer Supported Collaborative Work/ Collaborative Learning, 日本教育工学会編, 教育工学事典, 実教出版, 6-8, 2000.
- 岡本敏雄, 笠井俊信, 緒方博: 定性推論を利用したシミュレーション学習支援システムの開発と評価: 振り子の衝突現象を題材にして, 日本教育工学雑誌, 21 (3), 153-162, 1997.
- O'Malley, C. (Ed.): *Computer Supported Collaborative Learning* (NATO-ASI Series F: Computer and System Sciences 128), Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1995.
- 大島純: 最近の学習研究の方法論とその成果, 教育システム情報学会誌, 21 (3), 157-167, 2004.
- 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 Computer Support for Collaborative Learning (CSCL) : hypothesis testing and collaborative construction. *International Journal of Science Education*, 26 (10), 2004.
- 大島純, 大島律子, 竹中真希子, 山本智一, 稲垣成哲, 山口悦司, 村山功, 中山迅: CSCLを用いた科学教育の支援—仮説空間, 実験空間の探索活動の促進—, 日本認知科学会第20回大会発表論文集, 358-359, 2003
- 大島律子, 大島純, 村山功: CSCL環境における参加構造の統制と対話ルールの教示が学習に及ぼす効果, 日本教育工学雑誌, 26 (2), 55-64, 2002.
- Papert, S. : *Mindstorms*. New York: Basic Books, A Division of Harper Collins Publishers, Inc, 1980. (シーモア・パパート: 『マインドストーム—子供, コンピュータ, そして強力なアイデア』, 奥村貴世子 (訳), 未来社, 1995.)
- Petrosino, A. J., Pfaffman, J., & the Cognition and Technology Group at Vanderbilt: The Mission to Mars Webliographer: a principled approach to the design of a

- CSCL tool. *Proceedings of Computer Support for Collaborative Learning 1997*, 198–206, 1997.
- Pittman, K. M. : Student-generated analogies: another way of knowing? *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1–22, 1999.
- Roschelle, J. : Learning by collaborating: convergent conceptual change. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(3), 235–276, 1992.
- Scanlon, E. : Learning science on-line. *Studies in Science Education*, 30, 57–92, 1997.
- Scanlon, E., Morris, E., di Paolo, T., & Cooper, M. : Contemporary approaches to learning science: technologically-mediated practical work. *Studies in Science Education*, 38, 73–114, 2002.
- Scardamalia, M. : Collective cognitive responsibility for the advancement of knowledge. Barry, S. (Ed.), *Liberal Education in a Knowledge Society*, Chicago: Open Court, 67–98, 2002.
- Scardamalia, M & Bereiter, C. : Higher levels of agency for children in knowledge building: a challenge for the design of new knowledge media. *The Journal of the Learning Sciences*, 1(1), 37–68, 1991.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. : Computer support for knowledge-building communities. *Journal of the Learning Sciences*, 3 (3), 265–283, 1994.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. : Schools as knowledge-building organizations. D. Keating & C. Hertzman (Eds.), *Developmental Health and Wealth of Nations: Social, Biological, and Educational Dynamics*. New York: The Guilford Press, 274–289, 1999.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. : Computer support for knowledge-building communities. In T. Koshmann (Ed.) *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, Mahwah, NJ: 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*. Cambridge, MA: 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.
- Shimoda, T. A., White, B. Y., & Frederiksen, J. R. : Student goal orientation in learning inquiry skills with modifiable software advisors, *Science Education*, 86(2),

引用文献

- 244-263, 2002.
- Smith, B. K., & Blankinship, E. : Imagery as data: structures for visual model building. *Proceedings of Computer Support for Collaborative Learning 1999*, 549-557, 1999.
- Songer, N. B., & Linn, M. C. : How do students' views of science influence knowledge integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 761-784, 1991.
- Sugimoto, M., Kusunoki, F., Inagaki, S., Takatoki, K., & Yoshikawa, A. : Epro2: Design of a system and a curriculum to support group learning for school children. In P. Wasson, S. Ludvigsen, & U. Hoppe (Eds.), *Designing for Change in Networked Learning Environments: Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning 2003*, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 303-312, 2003.
- 杉本美穂子, 佐伯胖, 楠房子, 須藤正人 : 科学教育における建設的会話支援システムの活用, *科学教育研究*, 26 (1), 56-65, 2002.
- Suthers, D. D., Toth, E. E., & Weiner, A. : An integrated approach to implementing collaborative inquiry in the classroom. *Proceedings of Computer Support for Collaborative Learning 1997*, 272-279, 1997.
- 鈴木栄幸, 舟生日出男 : 学習者間対話の支援をとおした創発的学習領域の構成, *科学教育研究*, 26 (1), 42-55, 2002.
- 鈴木宏昭 : 類似と思考, 共立出版, 1996.
- 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, 2002a.
- 鈴木真理子, 永田智子, 中原淳, 浦嶋憲明, 今井靖, 上杉奈生, 若林美里, 森広浩一郎 : CSCL環境での共同体参加による教員養成系大学生の協調的な教具作成活動の分析, *日本教育工学雑誌*, 26 (Suppl.), 243-248, 2002b.
- Tabak, I., & Reiser, B. J. : Complementary roles of software-based scaffolding and teacher-student interaction in inquiry learning. *Proceedings of Computer Support for Collaborative Learning 1997*, 289-298, 1997.
- 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.
- 遠西昭寿 : 知識・状況・学習 : 課題研究報告者へのコメント, *理科の教育*, 47 (8), 64-

- 65, 1998.
- 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.
- Williams, M., & Linn, M. C. : WISE inquiry in fifth grade biology. *Research in Science Education*, 32(4), 415-436, 2002.
- Williamson, V. M., & Abraham, M. R. : The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534, 1995.
- 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, 1993a.
- Wong, E. D. : Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1259-1272, 1993b.
- 山口悦司 : 知識・状況・学習 : 状況的認知と対話の学びを相互参照した認知論的研究のとりえ直し, 理科の教育, 47 (7), 50-53, 1998.
- 山内祐平 : ネットワークコミュニケーションの実践力を育てる場としての学習環境デザイン, 日本教育工学雑誌, 23 (1), 37-46, 1999.
- 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.
- 吉岡有文 : 知識・状況・学習 : かかわり合う学びの場としての学校と科学実践としての科学の学び, 理科の教育, 47 (8), 60-63, 1998.

謝 辞

神戸大学発達科学部・稲垣成哲助教授には、本研究のすべてにわたりご指導をいただくとともに、研究活動の根底を支えていただきました。心より深く感謝致します。

神戸大学発達科学部・土井捷三教授，同・小川正賢教授，同・今谷順重教授，同・高橋正教授には、的確なご指摘で研究を導いていただきました。また，折に触れ，ご助言とご支援もいただきました。心より感謝申し上げます。

宮崎大学教育文化学部・山口悦司助教授は，本研究に惜しみないご支援をくださいました。心よりお礼申し上げます。

さらに，Knowledge Forum Japanプロジェクトにおいて共同研究をさせていただいた，静岡大学総合情報処理センター・大島純助教授，静岡大学教育学部・村山功教授，宮崎大学教育文化学部・中山迅教授，中京大学通信制大学院スーパーメンター・大島律子先生からは，様々な教えを請いました。本当にありがとうございました。

そして，長期にわたる実験授業では，神戸大学発達科学部附属住吉小学校の先生方にも，ご協力とご支援をいただきました。ここに，深くお礼申し上げます。

その他にも，多くの皆さまに支えられここまで来ることができました。この場を借りて，お礼申し上げます。

平成16年12月1日

竹中 真希子