

STSアプローチによる高等学校「理科総合A」のカリキュラム開発

— 単元「資源の利用と自然環境」を中心として —

栢野彰秀

(2001年9月28日受理)

Curriculum Development for High School “Integrated Science A”:
Through STS Approach Lessons of Unit on a Use of Natural Resources and Natural Environment

Akihide Kayano

“Integrated Science A” was set to a new science course of study revised 1998. A teaching module of the “Integrated Science A” was developed and trialed in an attempt to facilitate students’ acquisition of the science knowledge related to the environmental issues. It is proposed that STS approach should be implemented in “Integrated Science A” lessons dealing with “Use of Natural Resources and Natural Environment”. Through such lessons, the students were deepened their understanding not only on use of energy and development of natural resources but also on protecting of natural environment. In addition, they are encouraged to deepen their STS skills through participation in such class, and eventually to make appropriate decisions to care for the environment.

Key words; Curriculum Development, High School, “Integrated Science A”, STS approach
キーワード：カリキュラム開発、高等学校、理科総合A、STSアプローチ

はじめに

1980年代以降、相対主義的科学観などを背景として欧米を中心に、科学の授業において科学に関連した社会的問題を取り扱うSTSアプローチの必要性が指摘され、採り入れられている。

わが国においても、平成元(1989)年改訂の『高等学校学習指導要領理科編』においてIAを付された科目では、科学の方法の習得や科学知識の獲得に加え、理科と日常生活との関連や、科学技術と人間生活とのかわりに関する理解を深めることが目指された。STSアプローチによるこれらの科目授業は数多く提案され、実践されている¹⁾。

平成11年に改訂された『高等学校学習指導要領理科編』において、新しく設置された「理科総合A」や「理

科総合B」、「理科基礎」では、科学技術と人間とのかわりや科学が直面している問題が取り扱われ、一層STSアプローチを重要視した内容が示されている。これらの科目は選択必修であるが、内容面から見て「理科総合A」を各学校が実施する可能性が高いと思われる。STSアプローチによる「理科総合A」の教材開発と、その実践が緊急の課題であることは明確であるが、その報告は未だ少ない。

筆者はこのような問題意識から、『高等学校学習指導要領理科編』に規定された「理科総合A」の内容の大項目「(2)資源・エネルギーと人間生活」と「(4)科学技術の進歩と人間生活」を統合した単元「資源の利用と自然環境」を構想し、STSアプローチを導入した教材を開発し、授業で実践し、その評価を試みた。本稿では、この単元の授業の実践内容とその成果、及び課題について論及する。尚、授業評価の方法は、理科授業評価の方法として、最近その有効性が指摘されているイメージマップ法(IMT法)及び、生徒の感想文を用いた²⁾。

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：森敏昭(主任指導教官)、柴一実、鈴木盛久、
仙波克也

I. STSアプローチを導入した授業の構成

1. 教材開発の視点及び単元のねらい

「理科総合A」では、資源・エネルギーと人間生活、物質と人間生活、科学技術の進歩と人間生活について学習することが目指されている。

ところで、筆者は、米国における科学教育の動向を的確に把握し、わが国の理科教育への示唆を得るために、米国各州科学カリキュラム基準や『全米科学教育基準(NSES)³⁾』などの分析検討を通して、米国の科学教育カリキュラムの構成原理を明らかにしたり、米国科学教育カリキュラムの現代的動向について報告している⁴⁾。筆者によるこれらの報告は、以下の4点に要約される。第一に、米国各州科学カリキュラム基準やNSESは、児童・生徒に科学的リテラシーを啓発することを目的としている。第二に、STSアプローチが従来の科学教育に導入され、融合されて、現在の科学教育の目的や内容、方法が構成されている。第三に、科学カリキュラム基準において、科学の内容とSTSが同等に位置づけられ、実施に移されている。第四に、科学教育の目的を、児童・生徒の多様な学習活動を通して達成しようとしている。

現在、米国の科学教育では、科学の本質についての理解や科学の方法の習得に加え、学習過程で獲得された知識や技能を社会的・技術的文脈から統合し、実社会に起こる 이슈ーズに適用・応用できる能力を獲得させることが目指されている。筆者は、米国におけるSTSアプローチによる科学教育理論と実践は、わが国の「理科総合A」の趣旨を達成するための方途となるのではないかと考えている。そこで図1が示すように、今回教材開発を行った「理科総合A」では、「科学の本質についての理解と科学的探究」と「社会的・技

術的見地から見た科学」という観点から単元の目標を設けた。STSに関するねらいは「社会的・技術的見地から見た科学」に明記されている。「科学の本質についての理解と科学的探究」及び「社会的・技術的見地から見た科学」の捉え方及びそのねらいなどについては表1を参照されたい。

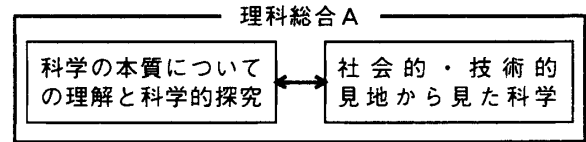


図1 「理科総合A」の枠組み

2. 教材開発を行った単元の内容構成

教材開発を行った単元は4小単元から構成されている。小単元「1. 太陽エネルギー」及び「2. 化石燃料と原子力エネルギー、地熱エネルギー」においては、エネルギーの利用を、小単元「3. 金属資源と非金属資源」において資源の開発について学習させる。小単元「4. エネルギー、資源と環境保全」においては、エネルギーの利用や資源の開発と自然環境とをリンクさせて学習させる。表2には、教材開発を行った単元「資源の利用と自然環境」の内容構成を示している⁵⁾。

「理科総合A」のねらいに基づき、表2に示した内容項目それぞれについて、目標を設定した。本単元の目標の全体は、資料1に示している。

3. 小単元の時間数及び授業展開の概要

小単元の時間数及び授業展開の概要は表3の通りである。授業の実施に当たっては、実験・観察、討論・話し合い、情報収集、プレゼンテーション、社会見学などの多様な学習活動を通して、生徒が単元の目標を達成するような授業構成に配慮した。授業対象者は、「総

表1 「科学の本質についての理解と科学的探究」及び「社会的・技術的見地から見た科学」の捉え方とそのねらい

| | 科学の本質についての理解と科学的探究 | 社会的・技術的見地から見た科学 |
|-----|---|--|
| 捉え方 | 科学知識は、科学者が実験や観察などを通して行った自然界についての解釈を、互いに同意する行為によって獲得されてきたものである。生徒は、発問や仮説の設定を行い、データを収集・分析し、結論を導くという自然の探究の機会に接し、自らの考えを構築し説明するという、科学をなす能力を発展させなければならない。 | 理科の学習によって習得した科学知識や科学の方法を、個人の健康や環境、資源の取り扱い方などに関する 이슈ーズに対し、個人的、経済的、社会的、政治的、国際的立場から分析し、相互に関連させる能力を進展させなければならない。そして、科学は科学技術の進展を助け、科学技術は科学的調査や探究、分析の際にツールとなって科学の進展を助けているように、相互に補完し合い、人類の問題や要求を解決するために適用・応用されているという観点から、科学と科学技術の限界性を見極め、可能な解決法を提案し、実行すべきである。 |
| ねらい | ① 科学の本質として、本来科学は動的なものであり、科学知識は新証拠の発見により変化しうることを理解する。 ② 科学的方法や科学的手段を用いて課題を探究し、その理解にもとづいて、個人の科学知識や科学的理解を調節し、改訂する。 ③ 資源の分布やその有効利用及び、自然の事象がエネルギーの考え方で、総合的に捉えられることを理解する。 | ① 科学と科学技術の関連及び、科学と科学技術が人類の活動にどのように影響を与えているか、理解し、表現する。 ② 科学的知識と科学的能力を、自らが生きていく上での意思決定に使う。 |

表2 単元「資源の利用と自然環境」の内容項目

| |
|--------------------------|
| 1. 太陽エネルギー |
| ① 地球が受け取る太陽エネルギー |
| ② 太陽エネルギーの直接利用 |
| ③ 太陽エネルギーの間接利用 |
| 2. 化石燃料と原子力エネルギー、地熱エネルギー |
| ① 化石燃料 |
| ② 原子力エネルギー |
| ③ 地熱エネルギー |
| 3. 金属資源と非金属資源 |
| ① 利用される元素と利用例 |
| ② 鉱床 |
| ③ 探査と開発 |
| 4. エネルギー、資源と環境保全 |
| ① エネルギーの利用と環境保全 |
| ② 資源の開発と環境保全 |

合理科」を履修する広島県立K高等学校普通科1年生1クラス(男子20人、女子21人)であった。授業は2000年9月上旬から12月上旬にかけて実施した。

4. 小単元の授業の内容

小単元1. 太陽エネルギー

本小単元の学習は、第1～4時に行われた。

第1時の授業では学習に先立ち、生徒がエネルギーについて、どのような知識やイメージを持っているのかを調査するために、「エネルギー」を鍵概念として、イメージマップを作成させた。

第2～4時の授業では、核融合や地球の熱平衡などの太陽エネルギーの特性を学習させた後、太陽光を直接エネルギー源として利用している装置や設備の例を各班ごとに列挙させ、それらの装置の長短所を考えさせ、発表させた。次いで、水力発電と風力発電が、太陽エネルギーを間接的に利用していることを生徒に理解させるために、水力発電と風力発電の長短所を、班ごとに考えさせ、発表させた。

小単元2.

化石燃料と原子力エネルギー、地熱エネルギー

本小単元の学習は、第4～17時に行われた。

第4、5時の授業では、以下の3点を学習させた。第一に、化石燃料も太古の太陽エネルギーが蓄積されたものであること。人類は、石炭や石油、天然ガスなどの化石燃料を燃焼させて必要なエネルギー量の約90%を得ていること。しかし、化石燃料も有限のものであり、現在これに変わるエネルギー源の技術開発がなされている。第二に、VTRを用いた石油の成因に関する理解⁶⁾。第三に、世界の炭田や油田、天然ガス田の分布とその地層の特徴。

表3 小単元の授業展開の概要

| 時限 | 小単元 | 授業の概要 |
|----|---------------------------------|---|
| 1 | 1 | ・単元の学習への導入 ・エネルギーの利用に関する学習への導入(イメージマップの作成) |
| 2 | | ・地球が受ける太陽エネルギー(核融合、地球の熱平衡) |
| 3 | | ・太陽エネルギーの直接利用(太陽電池と太陽熱温水器) |
| 4 | | ・太陽エネルギーの間接利用(水力発電と火力発電) ・化石燃料(化石燃料の種類、石炭) |
| 5 | | ・化石燃料(石油、天然ガス、化石燃料の分布) ・放射線(放射性同位体、 $\alpha\beta\gamma$ 線とその透過力) |
| 6 | | ・原子力エネルギー(日常生活と放射線、核分裂の機構と原子力発電) |
| 7 | | ・地熱エネルギー(地熱の存在、地熱発電) |
| 8 | 2 | ・生徒実験(蓄電池の製作) |
| 9 | | ・社会見学(中国電力中央給電指令所の見学) |
| 10 | | ・情報検索と調べ学習(図書館利用、インターネット利用) |
| 13 | | |
| 14 | | ・調べ学習のまとめ |
| 15 | | ・プレゼンテーション |
| 16 | | |
| 17 | ・エネルギーの利用に関する学習のまとめ(イメージマップの作成) | |
| 18 | 3 | ・資源の開発に関する学習への導入(イメージマップの作成) |
| 19 | | ・金属資源と非金属資源(天然資源、再生可能/再生不可能な資源、金属資源、非金属資源) |
| 20 | | ・金属資源(標本の観察) |
| 21 | | ・非金属資源、鉱床とそのでき方(非金属資源、火成作用による鉱床) |
| 22 | | ・鉱床とそのでき方(火成作用、風化・堆積作用による鉱床) |
| 23 | | ・生徒実験(クジャク石から銅を取り出す) |
| 24 | | ・資源の探査と開発(地下資源と海底資源の探査) |
| 25 | 4 | ・エネルギーや資源の保護と環境保全を考える |
| 26 | | ・話し合い(エネルギーや資源の保護と環境保全) |
| 27 | | ・資源の開発に関する学習のまとめ(イメージマップの作成) ・単元の学習のまとめ(感想文の作成) |

第5、6時の授業では、放射性同位体や放射線などの原子力を理解するために必要な科学的知識を学習させた後、放射線が利用されている例を各班に発表させたが、レントゲンの利用のみで他の用途例は取り上げていなかった。そのため、放射線の用途例を幾つか列挙し、説明を加えた。

核分裂機構と原子力発電についての生徒の理解を深めるために、生徒に以下の5点の内容を学習させた。第一に、原子の構造。第二に、ウラン235の核分裂機構とそれに伴って生じるエネルギー量。この点については、VTRを用いて、核分裂の連鎖反応と臨界も学習させた⁷⁾。第三に、加圧水型原子力発電所のしくみ。被爆を避けるための厳しい管理と放射性廃棄物管理についても学習させた。第四に、原子力発電所の長短所及びプルトニウムを用いた発電。第五に、わが国において、原子力発電が推進されようとしている理由。

第7時の授業では、太陽光や化石燃料、原子力だけがエネルギー源ではないことを学習させた。その他のエネルギー源として、地熱を取り上げ、地熱の源や取り出し方、地熱発電の方法を説明し、地熱が電気エネルギーに変換される過程を学習させた。その後、班ごとに地熱発電の長短所を考えさせ、発表させた。

第8時の授業では、エネルギー資源としての太陽光の存在を改めて認識させるために、蓄電池を製作させ、太陽電池を用いて蓄電池に充電させた⁸⁾。

生徒にとって電気は、日常生活で最も身近に感じることのできるエネルギーである。第9時の授業では、電気の安定供給や著しい科学技術の進展に対応するために、どれほど多くの基本的な自然の見方や考え方、実験の成果が活かされているのかということについて学習させた。同時に、電気に関する課題についても学習させた。このため、広島市中区小町にある中国電力株式会社本社内の中央給電指令所を見学させた。発電や電気の流れの現況が一目で分かる指令所内の系統監視盤見学中、午後3時になり、会社の休憩時間を期して、電気の消費量が大きく低下し、電気の消費量は、時間帯や社会の動き、季節などによって大きく変動することを実感させた。

第10～13時の授業では、水力発電、火力発電、原子力発電、地熱発電の長短所や課題、展望について発表させるために、各班ごとに情報処理室ではインターネット、図書室では書籍を用いて、情報収集を行わせた。尚、この4時間は、情報処理室と図書室に各1名の教師を配置して、約20人の少人数をT、T、で指導した。

第14時の発表準備の後、第15、16時の授業において、各班がこれまでに調べたことを発表させた。水力発電、火力発電、原子力発電、地熱発電それぞれについて2班ずつの発表が行われた。

第17時の授業では、エネルギーの利用に関する学習のまとめとして、「エネルギー」を鍵概念としてイメージマップを再び作成させるとともに、感想文を書かせた。

小单元3. 金属資源と非金属資源

本小単元の学習は、第18～24時に行われた。

第18時の授業では、「資源」を鍵概念として、イメージマップを作成させた。

第19時の授業では、私たちの生活で利用されている製品の原料となる資源に関して、生徒の既有的知識を整理するために、班ごとに次の3点の活動を行なわせた。第一に、身のまわりにある天然資源を知っているだけ書き出し、みんなの前で発表する。第二に、司会者を選出し、黒板に書き出された天然資源の例を、再生可能な資源と再生不可能な資源に全員で分類する。第三に、黒板に書き出された天然資源の例を、金属資源と非金属資源に分類する。

第20、21時の授業では、金属資源の存在及び、利用される元素とその利用例に関する理解を深めるために、14種類の金属資源の鉱石を生徒に提示しながら、鉄に加え、非鉄金属、希少金属、貴金属の例とその主成分の化学組成や利用される元素、用途を学習させた。その後、班ごとに希少金属の用途を質問したが、殆どの生徒が知らなかった。一方非金属資源に関しては、石灰石とケイ砂、岩塩の標本を生徒に提示しながら、主成分の化学組成や用途を説明した。

第22時の授業では、標本を提示しながら、火成作用や風化・堆積作用、風化作用によって生じる鉱床の産状と、そこに濃集する金属や非金属資源に関する学習を行わせた。

第23時の授業では、クジャク石から銅を取り出す実験を行わせ、資源の存在を知らせ、その利用法を考えさせた⁹⁾。

第24時の授業では、地下資源の探査には、人工衛星や地質調査などによる方法が開発されていることに加え、近年では深海底の資源に関心が寄せられていることを学習させた。特に、地下資源の探査から生産までの過程については、VTRを用いて生徒の理解を深めた⁶⁾。深海底の資源については、マンガン団塊の標本を提示しながら、マンガン団塊と海底熱水鉱床に関心が寄せられていることを説明した。

小单元4. エネルギー、資源と環境保全

本小単元の学習は、第25～27時に行われた。

第25時の授業では、小单元1、2におけるエネルギー及び、小单元3における資源に関する学習事項や学習によって得た科学的知識と、地球環境保全の在り方とをリンクさせるために、学習プリントや火力発電調査班が第15、16時の発表で用いた資料、中国電力中央給電指令所見学の際に配付された資料、『環境教育重要用語300の基礎知識¹⁰⁾』(2000)を用いて、以下の3点の

活動を行わせた。第一に、火力発電に用いられるエネルギー源は、可採年数が有限である化石燃料であり、化石燃料は燃やすことによって、地球環境に悪影響を及ぼす二酸化炭素や窒素酸化物、硫黄酸化物などが排出されることを改めて確認させる。第二に、地球温暖化及び酸性雨の発生するメカニズムやその被害とその防止対策の現状を調べさせる。第三に、火力発電所では、地球温暖化や酸性雨を防ぐために、どのような科学的・技術的処置や対策がとられているのか調べさせる。

第26時の授業では、単元のまとめとして、エネルギーや資源の利用と環境保全について、生徒による話し合いを行わせた。だが、予め学習事項をまとめ、エネルギー、資源と環境保全の在り方について作文を書かせ、実施した活動も文章でまとめさせたにも拘わらず、自発的に発言した生徒は僅かに4名であった。

第27時の授業では、「資源」の学習後に、生徒がどのような知識を獲得したのか、あるいはどのようなイメージを持ったのかを調査するために、「資源」を鍵概念としてイメージマップを再び作成させた。あわせて授業のまとめとして、感想文も書かせた。

II. 考察とまとめ

1. IMT法による単元の授業評価

生徒が作成したイメージマップを用いて、「エネルギー」及び「資源」に関する生徒の理解度について、以下に考察してみたい。

1) エネルギー概念の学習

図2に生徒Mが描いた学習前後におけるイメージマップを示した。

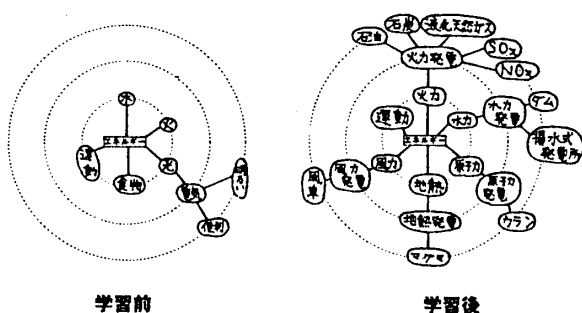


図2 生徒Mの学習前後のイメージマップ

イメージマップは、図2が示すように、何重かの同心円の中心に、鍵概念である「エネルギー」という語句を配置し、学習者はこの中心の語句から連想した言葉を同心円の円周上に記入し、線で結ぶ形式をとった。生徒Mは学習前には「エネルギー」から8個の連想語

を、学習後は21個の連想語を記した。図3には、学習前後にイメージマップを描いた38人の学習者が、学習前と学習後に鍵概念「エネルギー」から連想した語彙数とその変化を示した。

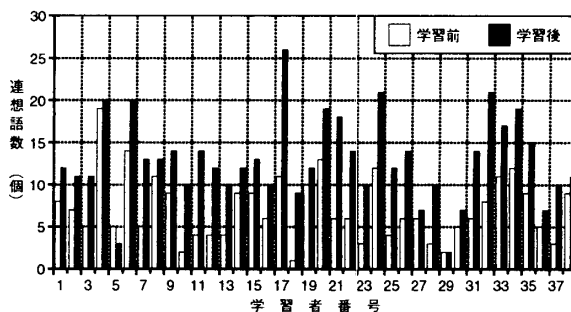


図3 全ての学習者の学習前と学習後の連想語数

一人の学習者の連想語数の平均値は、学習前は7.2語、学習後は13.0語であり、学習によって有意に増加していることが分かる ($t=9.9, df=37, p<0.05$)。

学習者全員の学習前後のイメージマップ中に書かれた全ての連想語を取り出し、KJ法を用いて分類した¹¹⁾。学習前は15、学習後は16のサブカテゴリーに分類されることが分かった。学習後に新たに加わったサブカテゴリーは「地熱」である。これら16のサブカテゴリーは、『電気的概念』、『生活概念』、『物理学概念』、『STS的要素』、『その他』の5主カテゴリーにまとめら

表4 カテゴリーとその連想語

| 主カテゴリー | サブカテゴリー | 含まれる主な連想語 |
|------------|---------|--------------------------|
| | カテゴリー | |
| 電気的 概念 | 電気・電力 | 電気 電力 電池 発電所 |
| | 水 力 | 水力 水力発電 ダム 水 |
| | 原子 力 | 原子力 原子力発電 ウラン |
| | 火 力 | 火力 火力発電 火 |
| | 風 力 | 風力 風力発電 風 |
| | 地 熱 | 地熱 地熱発電 マグマ |
| 生活 概念 | 化石燃料 | 石炭 石油 天然ガス |
| | 呼吸基質 | 食物 カロリー 脂肪 栄養 |
| | 光・太陽 | 太陽光 光合成 ソーラーシステム |
| 物理学 概念 | 必要性・利便性 | 消費 便利 必要 |
| | 力・運動 | 力 運動 まさつ |
| | エネルギー概念 | 力学的エネルギー 位置エネルギー 運動エネルギー |
| STS 的要素 | 熱 | 熱 熱量 |
| | 省エネ・有限性 | 省エネ 節約 リサイクル 限りがある |
| その他 | 地球環境 | 環境 温暖化 酸性雨 SOx NOx |
| | その他 | 原料 生産 |

れた。表4には、分類された主カテゴリー及びサブカテゴリーと、各カテゴリーに含まれる主な連想語を示した。

図2に示した生徒Mの学習前のイメージマップに記載された連想語の属するサブカテゴリーは、「電気・電力」、「水力」、「火力」、「呼吸基質」、「光・太陽」、「必要性・利便性」、「力・運動」の7カテゴリーであった。学習後のサブカテゴリーは、「電気・電力」、「水力」、「原子力」、「火力」、「風力」、「地熱」、「化石燃料」、「力・運動」、「地球環境」の9カテゴリーであり、学習前と比較するとカテゴリーが2増加している。

図4には、38名の学習者の学習前と学習後のカテゴリー数を示した。

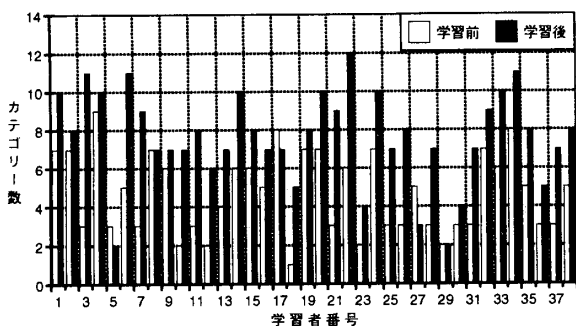


図4 全ての学習者の学習前と学習後のカテゴリー数

一人の学習者のカテゴリー数の平均値は、学習前は4.7個、学習後は7.6個であり、学習によって有意に増加していることが分かる ($t=8.2, df=37, p<0.05$)。

生徒の理解の広がりを見るために、各サブカテゴリーに属する連想語数の増え方を図5に示した。

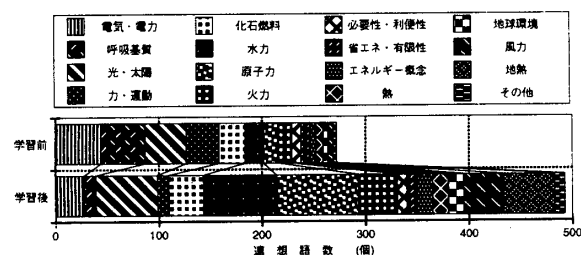


図5 連想語数とカテゴリー

図5より、学習者の書き出した連想語数は、学習前の272語から学習後に493語に増加したことが分かる。各サブカテゴリーに属する連想語数は「水力」(学習前18, 学習後70; 以下、18-70と略)、「原子力」(14-79)、「火力」(13-38)、「風力」(5-38)、「地熱」(0-50)、「化石燃料」(25-34)、「光・太陽」(40-60)、「エネルギー概念」(6-16)、「熱」(7-15)、「省エネ・有限性」(8-9)、「地球環境」(5-15)、「その他」(3-10)の12カテゴリーに属する連想語数が増加したことが分かる。一方、「電気・電力」(44-28)、「呼吸基

質」(43-11)、「力・運動」(32-11)の3カテゴリーに属する連想語数は減少した。

図6には、学習前後の連想語総数に対する各カテゴリーに含まれる連想語数の割合を示した。

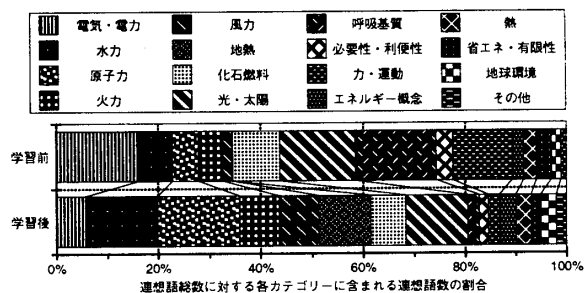


図6 学習前後における各カテゴリーの占める割合

図6より、学習後において連想語総数に対し連想語数の割合が増加したサブカテゴリーは、「水力」(学習前6.6%, 学習後14.2%; 以下、6.6-14.2と略)、「原子力」(5.1-16.0)、「火力」(4.8-7.7)、「風力」(1.8-7.7)、「地熱」(0-10.1)、「エネルギー概念」(2.2-3.2)、「熱」(2.6-3.0)、「地球環境」(1.8-3.0)、「その他」(1.1-2.0)の9カテゴリーである。一方、「電気・電力」(16.2-5.7)、「化石燃料」(9.2-6.9)、「呼吸基質」(15.8-2.2)、「光・太陽」(14.7-12.2)、「必要性・利便性」(3.3-1.8)、「力・運動」(11.8-2.2)、「省エネ・有限性」(2.9-1.8)の7カテゴリーに属する連想語数の割合は減少した。

主カテゴリー『電気的的概念』に属する連想語数の学習前後における連想語総数に対する割合は、学習前43.7%から学習後68.3% (以下、43.7-68.3と略)と大きく増加したことが分かる。『生活概念』(33.8-16.2)及び『物理学概念』(16.6-8.4)はその割合を減らした。その他の主カテゴリーは、『STS的要素』(4.7-4.8)、『その他』(1.1-2.0)であった。

学習前は、主カテゴリー『電気的的概念』のサブカテゴリーである「電気・電力」、『生活概念』のサブカテゴリーである「呼吸基質」及び「光・太陽」、『物理学概念』のサブカテゴリーである「力・運動」の4カテゴリーに属する連想語を学習者の半数以上が書き出した。これら4カテゴリーに書き出された連想語数だけで全体数の58.5%が占められている。このことから学習者は、日常生活の中で『電気的的概念』及び『生活概念』でエネルギーを捉えていることが分かる。

学習後は、主カテゴリー『電気的的概念』のサブカテゴリーである「原子力」、「水力」、「火力」、「地熱」、「風力」、「電気・電力」の6カテゴリーに加え、『生活概念』のサブカテゴリーである「光・太陽」に属する連想語を学習者の半数以上が書き出した。加えて、『電

『電気概念』に書き出された連想語数だけで、全体の68.3%が占められている。『生活概念』に属する連想語数は、大きくその割合を減らしている。これらのことから学習者は、日常生活の中で使用する電気とその生産方法を中心とした『電気概念』でエネルギーを捉えていることが分かる。

学習者が学習後に描いたイメージマップでは、学習前に比べると、鍵概念「エネルギー」から、2つ以上の連想語から構成された系列が増加し、枝別れしている連想の系列も増加した（以下、直線的な構造をとるものを直線型、枝別れするものを分岐型と呼ぶ）¹²⁾。

図2に示した生徒Mのイメージマップは、学習前は分岐型のみ1系列であったが、学習後は直線型3、分岐型2系列となり、学習前と比較すると、4系列増加した。生徒全員のマップに描かれた直線型と分岐型の数を合計すると、学習前は59であったが、学習後は102へと、43系列増加した。そのうち、分岐型は学習前20であったものが、学習後は63に増加した。

鍵概念から数えて、第一番目及び、第二番目の同心円上に書かれた連想語数を検討すると、学習前は、一人の学習者が第一番目の同心円上には平均4.0、第二番目の同心円上には平均2.2の連想語を書き出した。学習後は、平均4.5から5.2へと増加した。学習後は、エネルギーをとりまくさまざまな語彙から、拡散して新たな語彙が連想されるようになったことが分かる。

このように、学習者によってイメージマップに書き出された連想語の構造について検討した結果、学習前は鍵概念「エネルギー」を、自らの生存に必要なエネルギー源や太陽エネルギー、物理学的なエネルギー概念という枠組みで捉えていたことが分かる。一連の学習後、学習者は日常生活において利用する電気を通してエネルギーを理解する傾向があるが、エネルギーの源や多様性、有限性などに関しても視野が広がり、エネルギーを多面的に捉えていることが分かる。このことは、S T Sアプローチによる多様な学習活動を通して獲得された理科的知識を日常生活に関連させ、社会的・技術的見地からエネルギー概念を捉えることができるようになったと考えられよう。

2) 資源概念の学習

本小単元に関連する学習前後のイメージマップは37人の学習者が作成した。学習者全員が書き出した連想語総数は、学習前354語、学習後548語であった。一人の学習者が書き出した連想語数の平均値は、学習前は9.6個、学習後は14.8個であり、学習によって有意に増加している ($t=4.3$, $df=36$, $p<0.05$)。学習者全員が学習前後に書き出した全ての連想語を取り出して、

K J法を用いて分類すると、学習前後とも9カテゴリーに分類された。表5には、分類したカテゴリーと、各カテゴリーに含まれる主な連想語を示した。

表5 カテゴリーとその連想語

| カテゴリー | 含まれる主な連想語 |
|---------|---|
| リサイクル | リサイクル 紙 ゴミ 空き缶 ガラス ペットボトル ビン 新聞 スチール |
| 地下資源 | 鉄 金 銅 銀 レアメタル 石油 石炭 アルミニウム 非金属資源 金属資源 天然ガス 化石燃料 鉄鉱石 |
| 自然物 | 水 自然 森 風 海 川 植物 太陽 |
| 電気エネルギー | 火力発電 水力発電 火力 風力発電 電気エネルギー 揚水式発電 水力 |
| 地球環境 | 地球温暖化 酸性雨 自然破壊 地球 地球にやさしい 砂漠化 環境破壊 |
| 生物資源 | 木・木材 綿 麻 絹 天然ゴム |
| 有限性・利便性 | 再生不可能な資源 再生可能な資源 限りがある 節約 消費 大切 |
| 製品・用途 | 建築材料 百円玉 携帯電話 装飾品 |
| その他 | 工場 |

一人の学習者のカテゴリー数の平均値は、学習前は4.1、学習後は3.7であったが、これらの値の間には、有意な差は見られなかった。各カテゴリーに属する連想語数は『地下資源』（学習前72、学習後302、以下72—302と略）、『生物資源』（26—51）、『有限性・利便性』（25—41）、『製品・用途』（12—39）の4カテゴリーに属する連想語数が増加した。一方、『リサイクル』（81—26）、『自然物』（47—29）、『電気エネルギー』（42—21）、『地球環境』（29—25）、『その他』（20—14）の5カテゴリーに属する連想語数は減少した。

学習後において連想語総数に対し連想語数の割合が増加したカテゴリーは、『地下資源』（学習前20.3%、学習後55.1%、以下20.3—55.1と略）、『生物資源』（7.3—9.3）、『有限性・利便性』（7.1—7.5）、『製品・用途』（3.4—7.1）の4カテゴリーであり、学習後において連想語数が増加した4カテゴリーと同様であった。一方、『リサイクル』（22.9—4.7）、『自然物』（13.3—5.3）、『電気エネルギー』（11.9—3.8）、『地球環境』（8.2—4.6）、『その他』（5.6—2.6）の5カテゴリーに属する連想語数の割合は減少した。

学習後において、連想語数及び連想語数の割合が大きく増加したカテゴリー『地下資源』に書かれた連想語を改めてK J法を用いて分類すると、「化石燃料」、「金属資源」、「非金属資源」、「その他」の4サブカテゴリーに分類された。

これらのサブカテゴリーに書かれた連想語に着目すると、学習前は、既習事項でもある「化石燃料」に属する連想語数が全体の75% (54/72) を占めていたが、

学習後は、「金属資源」に属する連想語数が全体の64.9% (196/302) を占めた。「金属資源」に書かれた連想語に着目すると、学習前は3種の金属名(アルミニウム、鉄、ウラン)がのべ8語、鉱石名の例として“鉄鉱石”がのべ2語書かれているだけであった。学習後は“鉄”，“金”，“銅”，“銀”，“アルミニウム”など12種の金属名がのべ121語，“ボーキサイト”，“鉄鉱石”，“磁鉄鉱”，“黄銅鉱”など6種の鉱石名がのべ26語書かれていた。加えて，“熱水鉱床”などの鉱床名も挙げられ、金属資源に関して学習効果が上がったことが分かる。だが、学習後の「非金属資源」に書かれた連想語の検討からは、“非金属資源”という用語は15人の学習者から書かれていたが、具体的な名称は“ケイ砂”，“石灰石”，“ダイヤモンド”が1語ずつ書かれているだけであった。金属資源、非金属資源にそれぞれついて、多種多様な標本を提示して、授業展開を行ったにも拘わらず、非金属資源に関しての生徒の理解度は高くはないことが明らかになった。

学習者全員のマップに描かれた直線型と分岐型の数を合計すると、学習前は92であったが、学習後は122へと、30系列増加した。そのうち、分岐型は40から75へと増加した。

2つ以上の連想語から構成された系列1つあたりの連想語数を検討した。直線型は学習前後とも平均2.3と変化がなかったが、分岐型は学習前の平均4.3から学習後に平均5.7へと増加した。加えて、2つ以上の連想語から構成された系列に書かれた連想語数の連想語数全体に対する割合は、学習前の82.5% (292/354) から97.8% (536/548) へと増加した。学習後は、資源をとりまくさまざまな語彙から、拡散して新たな語彙が連想されるようになったことが分かる。

このように、学習者によってイメージマップに書き出された連想語の構造について検討した結果、学習前は資源を、紙やゴミ、空き缶などのリサイクル対象物、あるいはアルミニウムや鉄など日常よく見る金属として捉えていることが分かる。一連の学習後は、鉱石を金属資源、石油や石炭などの化石燃料も人類の有する資源と捉え、かつ、それらが学習者の日常生活とも関連させて捉えられていることが分かる。このことは、STSアプローチによって獲得された科学的知識が、自らの生活と関連づけられて理解されていると考えられる。

2. 生徒の感想文による単元の授業評価

本単元の授業実践の評価について、39人の生徒の感想文から検討したい。

10人の生徒が、「楽しかった」、「よかった」、「おもしろくない」などと直接的な表現を用いて授業を評価した。肯定的な評価をした8人のうち、生徒Tは「こういう授業は中学校の時に少しやったことがあるけど、普通の授業より授業に参加している気分になって楽しかったです。」と記した。この感想からは、多様な学習活動を取り入れ、適切な教材を提示すれば、学習者への動機付けが行われ、生徒が楽しく主体的に学習を行うことができることが分かる。

班ごとの話し合いや、討論に関する感想を書いた生徒は5人であった。生徒Sは「心に残っているのは、クラスや班で話し合いをしたことです。みんなの意見をいろいろ言い合ったりしたことはよい経験だった。それぞれ違った意見がたくさんあったので、とても驚いた。」と書いている。生徒にとっては、授業中自らの考えを発言し、それに基づいて話し合いが行われるタイプの授業を受ける機会が少ないため印象に残ったのであろう。生徒Mは、第26時において自らが発言した経験をもとに「はじめは、自分の意見を言うことがはずかしかったり、言いたいことがうまく伝えられなくて、苦労しました。でも、そうした中で、少しずつ自分の意見を分かりやすく自信を持って言えるようになったと思います。」と記している。生徒Sも自らの発言をもとに同様な感想を記した。生徒MやSのように、積極的に発言する経験を有した生徒が増えると、生徒の自発的な発言が増え、話し合いや討論が深化する授業になると考えられる。生徒の自発的な発言を促す方略の検討の必要性が明らかになった。

調べ学習とプレゼンテーションに関する感想を書いたのは8人であった。生徒Nは、「調べたことをまとめるのはけっこう大変だった。同じものを調べたのに、班の中でこんなにも違う考えがあるんだと思った。でも班で話し合っただけで発表することと、書くことを決めました。」と書いている。この感想からは、発電方法の長短所とその課題、及び展望という社会的問題を調査し、まとめ、発表するという本単元の学習過程において、生徒一人ひとりの持つ考えを尊重した上で、班員の合意形成や意思決定が、協同的な作業や話し合いを通して行われたことが分かる。STSアプローチを導入した学習活動の成果が窺える。

生徒Oは「エネルギー、資源、環境保全のこの三つを取りあげてやったのは、この三つがつながっているからだと思った。」と述べている。同様な感想を、他に6人が書いていた。エネルギー、資源と環境保全について、生徒Oらのように明確にそれらの関連を感想文中に記述していないが、エネルギー、資源と環境保全について関連させた感想文を書いた学習者は15人いた。これら22人の生徒の感想文からは、本単元の学習を通

して、エネルギーや資源と地球環境の保全について、総合的に考えさせようとした、単元構成の意図が学習者によく理解されていることが分った。

生徒Pは「今回の授業を通して、地球のあらゆる環境について益々興味がわきました。今の地球の資源とエネルギーの利用方法の問題点の考え方が変わってきたのは確かだし、中略・今の地球環境を保全していくためにも、一人ひとりが、少しでも地球にとって優しいことを心がけるべきだと思う。」と記していた。他に22人の学習者が同様な感想を記していた。これらの感想文に加えて、エネルギーや資源の保護や地球環境保全のために、具体的な提案を行った学習者が僅か2名であったことから、本単元が、学習者にエネルギー、資源と環境保全を関連させて考える契機を与えたに留まっていることが分かる。一見快適で便利な生活の一部を自制したり、金銭的な負担もあえて強いなどといった具体的提案を積極的に行うような授業方略の検討が今後の課題として残された。

おわりに

学習者の授業中の活動や感想文、IMT法による授業評価から、学習者は、STSアプローチを導入した単元「資源の利用と自然環境」の学習全般を通しては、エネルギーや資源の利用と開発、保護、地球環境の保全についての理解を深めたといえよう。

学習者は、資料調査や発表、話し合い、社会見学といった多様な学習活動を通して獲得した科学的知識を、エネルギーや資源の利用と開発、保護、地球環境の保全のためにリンクさせ、利用・応用し始めた。学習のねらいは十全に達せられたように思われる。加えて、班ごとにおける少人数の話し合いにおいては、ある程度自由な話し合いが行われていた。だが、他人の考えや意見を尊重した上で、自らの意見も主張でき、考えや理解を深化させるようなクラス討論や話し合いは容易ではなかった。

理科の学習によって習得した科学知識や科学の方法を用いて学習者に、個人の健康や環境、資源の取り扱い方などに関するイシューズに対し、社会的・技術的見地から分析し、かつ相互に関連させることのできるスキルを獲得させるためには、この点の反省が必要不可欠であると考え。今後、クラスにおける討論や話し合いを積極的に行うこと。多数の生徒が具体的提案などを積極的に行い、その提案に基づき、自主的に実践行動を起こすこと。もっと生徒に意思決定を迫るような授業を行うことが必要である。

今回教材開発を行った単元の更なる検証が課題とし

て残された。

註及び引用・参考文献

- 1) 例えば、Yosisuke KUMANO, Implimentation of STS Instruction in Meikei High School, J.Sci.Educ.Japan,17 (3),pp. 115 - 124, 1993. や、大塚信幸他:「高等学校理科におけるSTSモジュール学習の教育的効果に関する実証的研究」,『日本理科教育学会研究紀要』,Vol.35, No.3, pp.33 - 42, 1995. など多数報告されている。
- 2) IMT法の分析方法は、栢野彰秀他:「エネルギー・環境教育的アプローチを導入した高等学校化学に関する実践的研究—小単元「鉄と鉄の化合物」における学習を例として—」,『科学教育研究』, Vol.24, No.1, pp.40 - 48, 2000. の該当部分を参考にした。
- 3) National Research Council, *Natonal Science Education Standards*, National Academy Press, 1996.
- 4) 栢野彰秀:「アメリカ科学教育カリキュラムにおける最近の動向—ウイスコンシン州及びアラバマ州を中心として—」,『日本科学教育学会研究会研究報告』,Vol.10, No.3, pp.1 - 6, 1996.、栢野彰秀:「アメリカ州科学カリキュラム基準におけるSTS教育—14州の場合—」,『日本理科教育学会研究紀要』, Vol.38, No.2, pp.163 - 171, 1997. などが代表的なものである。
- 5) 単元の内容構成に関しては、新「理科総合A」の教科書執筆者A氏から助言をいただいた。
- 6) エッソ石油:『石油とは何か』(VTR).
- 7) 科学技術庁, 科学技術振興事業団:『JCOウラン加工施設臨界事故のここが疑問』, 2000. (VTR).
- 8) 渡井亨:「直接体験を通して、自然についての理解を深める環境教育」,『平成12年度日本化学会中国四国支部化学教育研究発表会講演要旨集』, pp.26 f, 2000.
- 9) 広瀬正美他:『総合理科』, p.103, 1999, 東京書籍.
- 10) 田中春彦編著:『重要用語300の基礎知識④環境教育』, 2000. 明治図書.
- 11) 川喜田二郎:『発想法』, 1967, 中央公論社.
- 12) 直線型は、連想語が3以上連続して書かれている場合も1つとして数えた。分岐型は、分岐の仕方がどのようであろうとも、1つとして数えた。

(主任指導教官; 森敏昭)

資料1 単元目標

| 小単元1. 太陽エネルギー | | |
|--|---|---|
| 項目名 | 科学の本質についての理解と科学的探究 | 社会的・技術的見地から見た科学 |
| ① 地球が受け取る太陽エネルギー ② 太陽エネルギーの直接利用 ③ 太陽エネルギーの間接利用 | 1 太陽から地球に達するエネルギー量を定量的にいうことができる。 2 太陽エネルギーの源である核融合の概略を定義することができる。 3 太陽放射の大気や地球での吸収量を定量的に表現することができる。 4 地球における熱の循環と収支を説明することができる。 5 太陽電池や太陽熱温水器によって太陽エネルギーが、どのような形のエネルギーに変換されたか、説明することができる。 6 水力発電と風力発電がどのように太陽エネルギーを利用しているのか、いうことができる。 7 太陽エネルギーが電気エネルギーに変換される過程を、水力発電と風力発電を例にとり、説明することができる。 8 非蓄積型の太陽エネルギーや水力、風力などの特性や有限性、その利用などをいうことができる。 | 1 太陽エネルギーを直接利用している装置や設備を列挙する。 2 太陽電池と太陽熱温水器の長所と短所を列挙する。 3 水力発電と風力発電の長所と短所を列挙する。 |
| 小単元2. 化石燃料と原子力エネルギー、地熱エネルギー | | |
| ① 化石燃料 ② 原子力エネルギー ③ 地熱エネルギー | 9 多様なエネルギー資源が、発電や熱源に利用されていることがいえる。 10 オイルシェールを観察する。 11 オイルシェールの液化技術の開発を知る。 12 太陽エネルギーを吸収した生物の一部が化石燃料のエネルギーとして蓄積され、人類が燃料として利用していることを説明することができる。 13 石炭の特性や成因、成立年代、分布、埋蔵量の有限性を表現することができる。 14 石油及び天然ガスの特性や成因、成立年代、分布、埋蔵量の有限性を表現することができる。 15 蓄積型エネルギーである化石燃料の特性や資源の成因、分布、埋蔵量の有限性をいうことができる。 16 天然放射性同位体の存在と α 線、 β 線、 γ 線の性質をいうことができる。 17 日常生活において受ける放射線量を定量的にいうことができる。 18 核分裂の概略を定義することができる。 19 原子力発電の安全対策や放射性廃棄物管理の実態をいうことができる。 20 原子力発電のしくみを説明することができる。 21 蓄積型エネルギーである原子力の特性や資源の成因、分布、埋蔵量の有限性をいうことができる。 22 化石燃料と原子力がエネルギー資源として利用される過程の概略を表現することができる。 23 地熱がエネルギー資源として利用される過程の概略を表現することができる。 24 蓄電池を製作して、太陽エネルギーを化学エネルギーを経由して電気エネルギーに変換する。 25 化石燃料や原子力エネルギー、地熱をエネルギー資源として利用する際、環境への配慮が必要であることをいうことができる。 | 4 放射線の利用例を列挙する。 5 地熱発電の長所と短所を列挙する。 6 蓄積型と非蓄積型のエネルギー源及び、その利用法の長所及び短所を比較し、今後の有効利用方法を考える。 7 水力発電、火力発電、原子力発電、地熱発電の方法や特徴、長所・短所、それらの持つ課題や今後の展望などを調査し、まとめ、発表する。 8 中国電力中央給電指令所の見学を行う。 |
| 小単元3. 金属資源と非金属資源 | | |
| ① 利用される元素と利用例 ② 鉱床 ③ 探査と開発 | 26 いろいろな金属鉱石から取り出される元素及び、その元素が利用されている例をいうことができる。 27 レアメタルの定義をいうことができる。 28 いろいろな非金属資源の例及び、その利用例をいうことができる。 29 金属資源や非金属資源の鉱石の観察を行う。 30 金属、非金属資源となる元素が地殻の中に地域的に濃集して鉱床を作る概略をいうことができる。 31 幾つかの種類の鉱床の成因と濃集する金属をいうことができる。 32 塊状鉄鉱石の観察を行う。 33 塊状鉄鉱層の成因の概略をいうことができる。 34 幾つかの非金属資源の成因とその概略をいうことができる。 35 クジャク石から銅を取り出すことができる。 36 資源の探査方法の概略をいうことができる。 37 海底探査の現状と課題を表現することができる。 | 9 天然資源の例を列挙する。 10 列挙した天然資源を再生可能な資源と再生不可能な資源に分類する。 11 列挙した天然資源を金属資源と非金属資源に分類する。 12 レアメタルの使用例を列挙する。 |
| 小単元4. エネルギー、資源と環境保全 | | |
| 項目名 | 科学の本質についての理解と科学的探究 | 社会的・技術的見地から見た科学 |
| ① エネルギーの利用と環境保全 ② 資源の開発と環境保全 | 38 化石燃料の燃焼に伴い、地球環境に悪影響を及ぼす物質がいえる。 | 13 化石燃料は再生不可能な資源であることをいうことができる。 14 地球温暖化の原因物質と、地球温暖化に伴い生じる諸問題を指摘することができる。 15 酸性雨の原因物質と、酸性雨の降雨に伴い生じる諸問題を指摘することができる。 16 地球温暖化や酸性雨を防ぐためにどのような処置や対策がとられているか調査する。 17 エネルギーや資源の利用と環境保全についての自らの考えをいうことができる。 18 エネルギー、資源の利用と環境保全について実現可能な対策を提案し、実行に移す。 |