

開発した金属結晶を用いた新授業による 意識変容と理解度調査

大橋 淳史¹⁾, 西條 慎祐²⁾, 原 友樹²⁾

1) 愛媛大学教育学部

2) 愛媛大学大学院教育学研究科

Study on transformation of student's consciousness by active learning at the model of Metallic crystal structure

Atsushi OHASHI¹⁾, Shinsuke SAIJOH²⁾, Yuki HARA²⁾

1) Faculty of Education Ehime University

2) Graduate School of Education, Ehime University

1. はじめに

今後の日本社会は、知識・情報・技術をめぐる変化の早さが加速度的になり、社会変化が人間の予測を超えて進展して、先の予測が困難な時代になることが予想されている。こうした社会においては、変化に対して主体的に関わる力、多様な他者と協働して目的の達成を目指す力が必要とされる。そのため、学校教育では、学びに向かう力の涵養、知識・技能の習得、未知の状況に対応する思考力・判断力・表現力などの養成を目的として、新学習指導要領で「主体的・対話的で深い学び」が提案されている（文部科学省、2017）。なかでも、知識・技能の習得においては、「個別の事実的な知識のみを指すものではなく、それらが相互に関連付けられ、さらに社会の中で生きて働く知識となるもの」であることが重視されており、「社会における様々な場面で活用できる知識として身につけていくことが重要」とされている。

そこで本研究では、個別の事実的な知識が重視されやすい科学理論の学習に注目し、高等学校で導入可能な、主体的・対話的な深い学びによる学習手法の開発を計画した。具体的には、化学のなかでも幾何学による暗記に偏った学習が行われることの多い、金属の結晶構造の単元（亀田、2004）に注目し、モデル教材を用いて学習における課題を

発見・設定し、実験・観察を通じて得られたデータの整理・分析を通して、課題解決に取り組む活動を計画した。

2. 主体的・対話的な学習計画

2.1. 学習内容

金属の結晶構造の学習は、高等学校の1年次の化学基礎「粒子の結合」および、2年次の化学「粒子の結合と結晶の構造」の2単元で、学年縦断で学習する。金属の結晶構造では、単位格子とよばれる「箱」を基準とした原子の3次元的な配列構造を、以下の4つの観点で学習する。

- A 単位格子内の原子の空間的配置
- B 単位格子内の原子数
- C 単位格子内の原子に隣接する原子数（配位数）
- D 単位格子を専有する原子の体積率（充填率）

学校教育では、これらを幾何学問題として解説することが多いため、正解率は一般に数学が得意な生徒が高い傾向がある（村田、2004）。また、幾何学による計算問題としての学習傾向から、生徒は、この世界に存在するあらゆる結晶が簡単な幾何学モデルで表せることに対する学問的な重要性を感じにくい状況にあると考えられている。

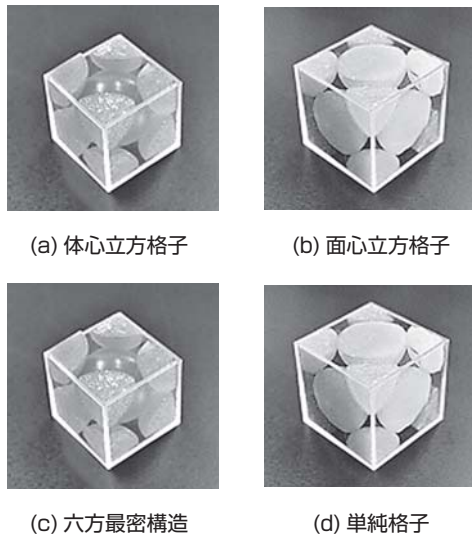


図1 金属の結晶構造モデル教材 (Ohashi, 2015)

そこで本研究では、スーパーボール（原子）とアクリル板（単位格子）からなる安価なモデル教材（図1）を用いて、単位格子の分解・組み立てを通して、観点A～Dについて主体的・対話的に探究し、課題の解決や新たな課題の発見・設定を行う授業の設計を計画した。

2.2. 観点別学習手法

金属の結晶構造は、学問的な重要性だけでなく、センター試験でも毎年出題され、かつ大学入学者選抜試験においても出題頻度が高い分野である。センター試験では図問題が近年の傾向であり、「結晶格子に関する図問題では、その構造を空間的に頭に浮かべられることが条件である。それができれば今まで見たこともない切り方でも、どのようなかが考察できるはずである」(大学受験パスナビ, 2016)とされている。近年は、従来の幾何学問題から、図2のような思考力を問う出題へと移行が進んでいるようだ。

問2 図1は面心立方格子の金属結晶の単位格子を示している。この単位格子の頂点a, b, c, dを含む面に存在する原子の配置を表す図として正しいものを、下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、◎は原子の位置を表している。

2

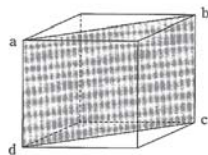


図1

図2 センター試験での出題例 (出典：平成28年度大学入試センター試験 化学 問2)

そこで、結晶構造の空間的理解や立体構造のイメージ形成を学習目標として、観点に対応した4種類の手法を計画

した(表1)。また、これらの活動では、対話的な学習を促進するために、モデル教材を生徒3～4人に1個とした。

表1 観点に対応した学習手法

名称	内容	観点
配列	単位格子中で、原子を正しく整列させる	A
原子数	1/8球、1/4球などを組み合わせて、単位格子内の原子(球)数を計測する	B
配位数	単位格子に整列する、ひとつの原子に隣り合う原子数を計測する	C
充填率	単位格子内の原子の占有率を測定する	D

配列(観点A)は、空の単位格子(箱)に対して、原子を空間的に正しく配列するように組み入れる活動である。白黒画像ではわかりにくいですが、体心立方格子(図1(a))と単純格子(図1(d))は1色、六方最密構造(図1(c))は2色、面心立方格子(図1(b))3色のスーパーボールが使用されている。色数は原子の配置の違う層の数を示している。体心立方格子と単純格子は同じ配列の層が積層しており、六方最密構造は2つの配列が交互に繰り返され、面心立方格子は3つの配列が順番(a, b, c, a, b, c, ...)に繰り返される。原子の空間的な配置を予想しながら結晶格子を組み立て(図3)、原子の空間的配置を理解することが目標となる。



図3 単位格子に原子を正しい配列で組み入れる

体心立方格子や単純格子は、原子の単純な積層構造であるため、これらで原子の空間的配置を確認した後、より複雑な六方最密構造や面心立方格子における原子の配列を理解する。とくに面心立方格子は、積層の垂直軸を45°傾けた状態で単位格子になるため、理解が難しい。そこで、最密構造に必要な原子の配置と層を示す配色の意味を発見し、組み立て・分解したデータを整理、分析して、結晶構造の空間的理解を深めることが目標となる。

原子数(観点B)は、原子を組み入れた単位格子から原子を取り出し、単位格子内の原子数を計測する活動である。原子1個は球体1個に相当するが、単位格子内では、1/8、

1/4, 1/2, 1/1 球などが混在する。観点 A と同様に、1/8 球が 8 個の単純格子や、単純格子に 1/1 球が加わった体心立方格子で原子数を確認した後、六方最密構造や面心立方格子でより複雑な概念への理解へと進む。単体格子から取り出した原子で球体を組み立て、単体格子内の原子数を計測し、原子の並びと単体格子の関係性の理解が目標となる。

配位数（観点 C）は、単体格子内のひとつの原子に隣接する原子数を計測する活動である。

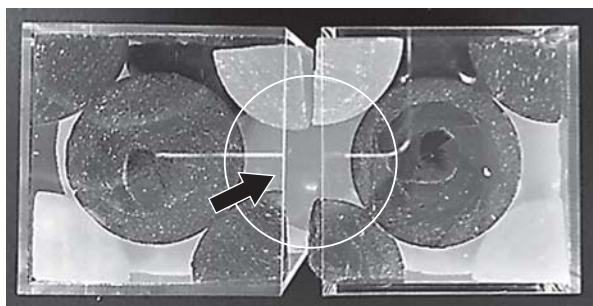


図 4 2つの面心立方格子に挟まれた中心原子（矢印の原子）の配位数は 12 となる

これまでと同様に、中心の 1/1 球に 8 個の 1/8 球が配位していることがわかりやすい体心立方格子で配位数を確認したあと、最密構造（面心立方格子、六方最密構造）を計測する。面心立方格子や六方最密構造では、2つの単体格子の中心に位置する原子に接する原子数を計測することで、容易に配位数が 12 であることが計測できる（図 4）。最密構造には、2つの結晶構造があり、配位数が同じであることを発見し、データの整理・分析によって、最密構造の意味について課題を解決することが目標となる。

充填率（観点 D）は、単体格子内の原子の占有率を実験的に測定する活動である。本手法は、モデル教材と、モデル教材に水を満たしたときの質量差を測定する簡易な実験であり、電子天秤とスポイト以外に実験器具を必要としない（Ohashi, 2015）ため、通常の実験授業と比較して、簡便である点が特徴である。分解・組み立てが容易な体心立方格子（充填率 68%）で測定を行ったあと、より複雑な面心立方格子（同 74%）、六方最密構造（同 74%）の測定を行う。観点 C と同様に、データの整理・分析によって、面心立方格子と六方最密構造がともに最密構造（74%）であることの理解が目標となる。また、観点 D では、実験的に充填率を導出するため、精度と確度から誤差について理解を深めることが副次的目標になる。

2.3. 授業設計

4つの観点をすべて学習する授業形式として、3時限を用いた授業を設計したが、実施 A 校（表 4）の教員から「愛媛県では、金属の結晶構造に利用できる授業時数は最大 2 時限である」と指摘があった。そこで、4つの観点を整理し、実験と計算を主体とする実験型授業と、短時間の活動

を複数回繰り返す講義型授業の 2つの授業モデルとすることで、2時限で実施できるように調整を行った（表 2）。

表 2 授業計画

授業	内容	観点
講義型	原子の空間的配置を中心に学習	A, B, C
実験型	原子の充填率を中心に学習	A, B, D

(i) 講義型授業

実験を伴わないため、準備後片付けの必要がなく、また実験経験の少ない生徒も混乱せずに実施できるため、導入が容易な手法として設計された。座学と並行して、モデル教材を用いた活動を実施する。

モデル教材の分解・組み立て（図 3）によって、結晶構造の空間的理解を深める（観点 A）ための一例として、班ごとの単体格子組み立て競争を実施した。班代表が組み立て速度を競うことで、生徒一人ひとりが主体的に正確かつ迅速に配列させるための活動を行い、また成果の共有のための話し合いが活発になった。原子数（観点 B）については、授業実施前に行われた事前調査（3.1）での自らの回答について、班内で意見を共有し、単体格子内の原子数について再考させたのち、モデル教材内から原子を取り出して球体になるように組み立て、原子数を球の数として確認した。配位数（観点 C）においても同様に事前調査について意見を共有したのち、例示された完成形（図 1）を観察し、さらに分解・組み立てを行い、配位数を確認した。以上、単体格子の組み立てと分解という同一手順を短時間で複数回行う手法で、生徒は操作に習熟し、主体的に課題を探究した。また、班活動によって対話的に原子の空間的理解を深めた。

(ii) 実験型授業

充填率を実験的に求めることで、結晶構造の違いによる充填率の違いを実感できる点に優れる手法である。一方で、実験とデータ分析が主眼となるため、原子の配列（観点 A）、単体格子内の原子数（観点 B）は、充填率の実験的決定（観点 D）におけるモデル教材の分解・組み立て作業（操作⑥）を通して、並行して学習した。

[充填率を求める実験操作]

- ① 箱のみの質量 a を測定した。
- ② 箱を水で満たし、その質量 b を測定した。
- ③ 箱から水を捨て、箱の内外に付着する水を拭き取った。
- ④ 箱にスーパーボールを組み入れ、その質量 c を測定した。
- ⑤ ④の状態から水を満たし、その質量 d を測定した。
- ⑥ ④、⑤を各単体格子 3 回ずつ測定した。
- ⑦ 得られた結果の平均値、 a_{av} 、 b_{av} 、 c_{av} 、 d_{av} から、以下の計算式で充填率を算出した。

$$\text{充填率 (\%)} = 100 - \frac{d_{av}-c_{av}}{b_{av}-a_{av}} \times 100$$

3. 実施

3.1. 基礎調査

愛媛県における生徒の金属の結晶構造単元への理解度について基礎調査を実施した。調査対象は、愛媛県内14校の生徒、計68名（1年生18名、2年生50名、男子:44名、女子:24名）であり、金属の結晶構造について、以下の質問紙調査を実施した（表3）。

表3 質問項目

自己評価 (10段階評価)	単位格子内の原子の数について、説明できるか。 3つの単位格子の空間充填率が異なる理由を説明できるか。
客観評価 (択一問題)	面心立方格子の原子の数 面心立方格子の配位数 面心立方格子の断面図（図2）

自己評価は、「説明できる」を10として、1の「説明できない」からの10段階評価とした。また、客観評価の問題を以下に示す。問3、4は、化学基礎で既習の内容、問5はセンター試験過去問から引用した。

問3 面心立方格子に含まれる原子数を選びなさい。
(1)2.0個, (2)2.5個, (3)3.0個, (4)3.5個, (5)4.0個

問4 面心立方格子で、1つの原子に隣接する原子数を選びなさい。
(1)4個, (2)6個, (3)8個, (4)10個, (5)12個

問5 面心立方格子を図2のように切断した時の断面図として適すると思うものを次のうちから選びなさい。

3.2. 授業実践

愛媛県内の高等学校5校において、計143名（1年生50名、2年生79名、3年生14名、男子:94名、女子:49名）を対象に実践を行った（表4）。

表4 実践校一覧

高等学校	学年・人数	授業モデル
A	1年生 36名	講義型
B	1年生 39名	講義型
C	3年生 14名	実験型
D	1年生 14名 2年生 19名	講義・実験型
E	2年生 21名	講義・実験型

A～C校では、講義型もしくは実験型のいずれか、DおよびE校では、時間を1時限延長して観点A～Dのすべての内容を実施した。授業前後に質問紙調査を行い、理解度および意識の変容を調査した。調査は、表3を使用した。

4. 結果・考察

4.1. 基礎調査結果

愛媛県内14校、計68名の生徒の基礎調査から、金属の結晶構造の単元は既習であっても自己評価が低いことが示された。調査時（7月下旬）には、1年生18名以外の生徒、計50名が直近に同単元を学習している。生徒の自己評価（図5、6）から、化学基礎と化学で2度に渡って学習した後も自己評価は低い傾向を示した。なお、未記入2名はデータから除外した。

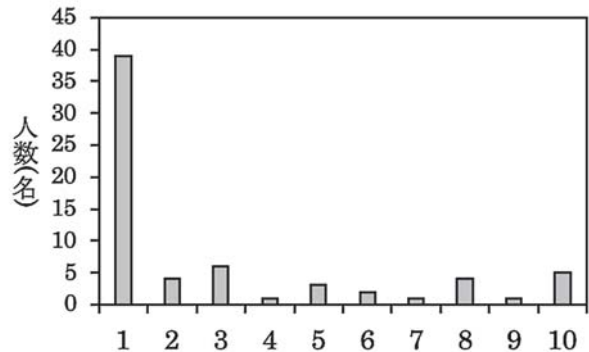


図5 「単位格子内の原子の数について、説明できるか」(1が説明できない、10が説明できるの10件法、n=66)

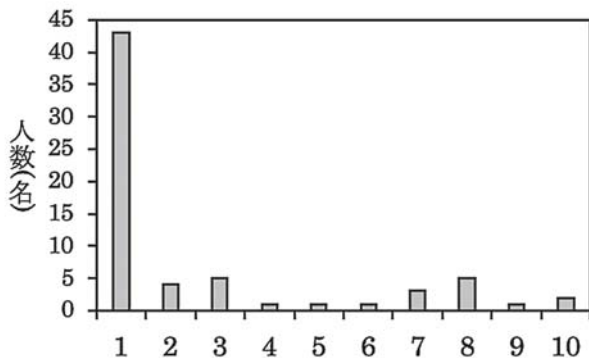


図6 「3つの単位格子の空間充填率が異なる理由を説明できるか」(1が説明できない、10が説明できるの10件法、n=66)

生徒の自己評価と同様に、客観評価における正解率も低い傾向を示した(図7)。若干の点数の上下はあるが、面心立方格子の単位格子内の原子の数、配位数、断面図、いずれの設問でも正解率は約30%であった。

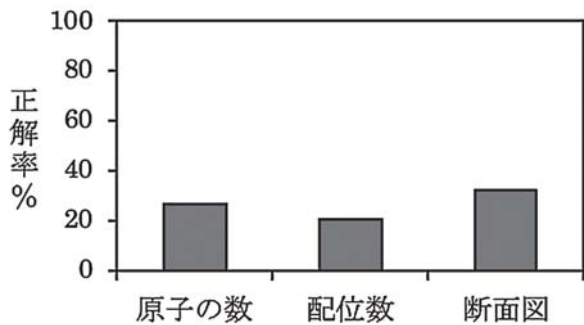


図7 原子の数・配位数・断面図の正解率 (n = 68)

生徒の自己評価と客観評価の相関係数は0.80であり、自己評価と客観評価には、強い相関性が認められた。

基礎調査から、金属の結晶構造について、生徒は「説明できない」とする自己評価が多く、また自己評価の低さは、客観評価と強い相関があることが示された。以上の結果より、生徒の結晶構造への理解は現状で低い状態にあり、結晶構造の理解を深めるための新たな授業が必要であることが示された。

4.2. 実践および学習効果測定

愛媛県内の高等学校5校、計143名に、表4の授業形式で実践を行った。各授業モデルの人数は、講義型が75名、実験型が14名、講義・実験型が54名であり、すべての生徒が実践時に金属の結晶構造単元について既習であった。実施形態は実践校との打ち合わせによって決定したが、導入のしやすさから、講義型が選択されやすいようだ。またD、E高校は、夏休みの補習の一環として実施されたため、実施校の希望で授業時数を1時限増加して、4つの観点すべてについて学習した。これらの実施形式による自己評価平均値の事前事後比較を以下に示す(図8)。

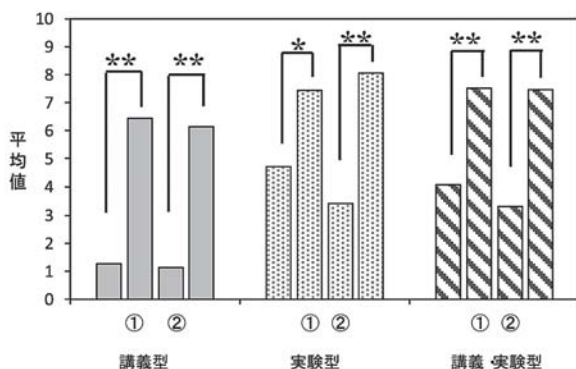


図8 自己評価の事前事後比較(左: 事前, 右: 事後, n = 143): ①「単位格子内の原子の数について、説明できるか」、②「3つの単位格子の空間充填率が異なる理由を説明できるか」

図8の**はt検定(両側)での1%有意差, *は5%有意差を示している。いずれの実施形式においても、自己評価は事後に有意に向上した。一方で、2つの設問①と②には有意差は認められなかった。事前調査における自己評価は、実験型(3年生)、講義・実験型(2年生, 1年生)、講義型(1年生)の順に低くなった。

客観評価の正解率においても、自己評価と同様に事前調査は3年生, 2年生・1年生, 1年生の順に低くなる傾向を示した(図9)。3年生の傾向は、基礎調査とは異なり、自己評価は、客観評価の高さとは相似していない。事後の正解率は、もともと高い実験型を除いて、1%有意に向上した。とくに事前の正解率ももっとも低かった1年生では顕著な向上が認められた。

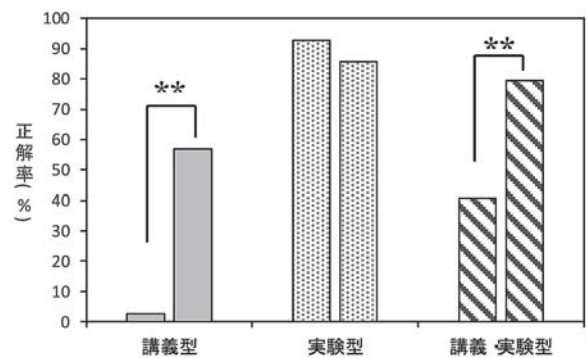


図9 「面心立方格子の単位格子内の原子数」 (n = 143)

配位数の事前の正解率は、他の客観評価と異なり、2年生・1年生, 3年生, 1年生の順に低くなり、3年生の正解率が低いことが特徴である(図10)。実験型を除き、正解率は事後に1%有意に向上した。

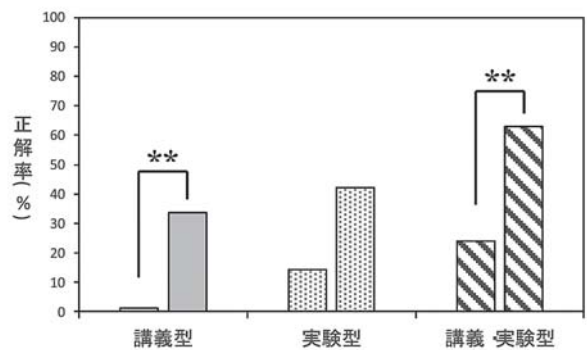


図10 「面心立方格子の配位数」 (n = 143)

事前事後、いずれにおいても、4個を選択する誤答が多い傾向から、問題文の「原子に隣接する原子数」を誤読して、原子数(4個が正解)を解答していると推測される。原子数は直前の設問で解答したにも関わらず誤答する傾向から、設問を独立した個別的事実的な知識とみなし、知識を関連付けて解答することが苦手である可能性が示唆された。

大学入試センター試験過去問からの出題は、講義・実験型のみが事後に5%有意に向上した(図12)。一方で、講義型では正解率が若干低下した。結晶構造の空間的理解がもっとも必要とされる本設問では、2時限の実施による有意な向上は認められない結果となった。一方で、1時限長く学習し、かつ金属の結晶構造単元で必要とされる4つの観点(A~D)をすべて学習した、講義・実験型では有意な向上が認められたことから、空間的理解の深化には3時限の実施が望ましいだろう。

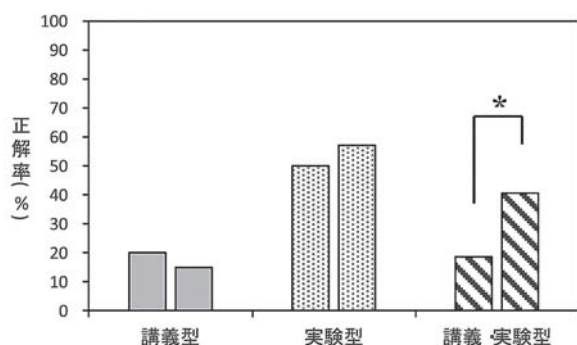


図11 「面心立方格子の断面図(大学入試センター試験過去問)」(n = 143)

以上の実践結果より、設定した4つの観点すべてについて学習し、かつ授業時数が1時限多い、講義・実験型で、もっとも高い学習効果が得られた。高等学校の実情に即して授業時数を2時限に限定するならば、学習効果は限定されるが、初学者にも効果のある講義型が適しているだろう。講義型は、単格格子の組み立て・分解という同一の手順を使って、観点A~Cを学習するため、生徒は手順に迷うことなく、主体的な課題の探究や、対話によるデータの整理・分析に、集中しやすいことが優れている。また、生徒の主体的活動を促進するために、結晶構造の組み立て競争が有用であった。生徒にとって「面倒」な暗記に対して、競争という方法を取り入れることで、効率良い組み立て方法の探究などの主体的活動が行われた。空間的理解の促進は、授業開始前などの空き時間を利用した、この種の繰り返し学習を行うことで対応できるかもしれない。一方、実験型では、結晶構造について説明できるとする意識の向上は認められたが、客観的な指標による理解度の向上は認められなかった。これは生徒の実験経験が少ないことに起因すると推測している。高等学校では、実験回数が少ないことが知られており(文部科学省, 2010)、実験を行う場合、不慣れな操作に多くの時間が必要となる。そのため、実験型では、実験操作とデータの整理・分析が授業時間の大部分を占め、観点A~Cの学習効果が高まらないと推測した(充填率については客観評価していない)。この欠点を解消した講義・実験型では、唯一、すべての客観評価で有意に向上しているため、実施形式としては、講義・実験型がもっとも望ましい。導入の場合は、実験型のみを補習で導入す

るなどの工夫が必要だろう。

4.3. 性差による学習効果

OECD生徒の学習到達度調査(国立教育政策研究所, 2016)における、科学リテラシーの得点では、日本は男子生徒545点に対して女子生徒が532点であり、男子生徒は女子生徒と比較して有意に成績が高いことが示されている。また、同調査では、科学的能力の「現象を科学的に説明する」領域で25点、「科学的探究を評価して計画する」領域で3点、「データと証拠を科学的に解釈する」領域で9点、男子生徒が女子生徒よりも高いことが示されている。こうした結果から、一般的に男子生徒は女子生徒よりも理数系が得意と考えられている。一方で、女子生徒の理系科目での得点率の低さは、得手不得手ではなくジェンダーバイアスによって引き起こされている可能性がある(伊佐, 2014)。世界的にはSTEM科目の成績における性差は比較的小さい(O'Dea, 2018)ことが示されている一方で、女性が理系を選択するためには種々の障害があることも知られている(アタネ, 2018)。たとえば、日本でも、ジェンダーバイアスによって男子生徒は進路意識が明確でなくとも「迷わず理系」を選択するのに対して、女子生徒が理系を選択するには、種々のハードルがあるとされている(村松編, 1996)。

そこで、本結果について、性差による学習効果の検討を行った。対象者は、男性94名、女性49名であった。実践前後の自己評価平均(図8)を、性差で分類し、事前から事後への伸び率を示した(図12)。

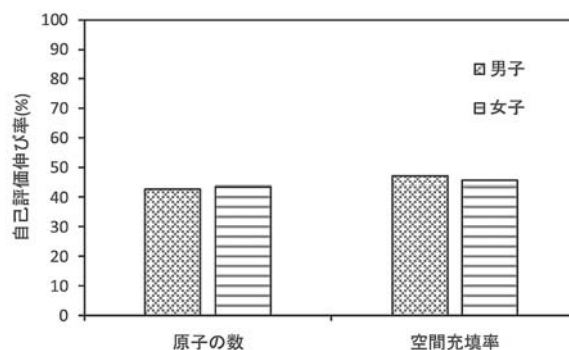


図12 自己評価の伸び率性別比較(事前, n = 143)

「現象を科学的に説明する」という設問は、OECD生徒の学習到達度調査の聴取項目で、女子生徒が男子生徒との比較でもっとも低い傾向を示したが、原子の数、空間充填率ともに、性差による伸び率の差異は認められなかった。一方で、客観評価の性差による伸び率は、性差による学習効果の差が認められた。

表5 事前調査の客観評価における平均正解率 (%)

	人数 (名)	原子の数	配位数	断面図
男子	94	21.3	10.6	22.2
女子	48	32.3	12.2	22.4

事前の正解率には、性別による得点率の差は認められなかったが(表5)、正解伸び率では、女子生徒の伸び率が男子生徒を上回る傾向を示した(図13)。

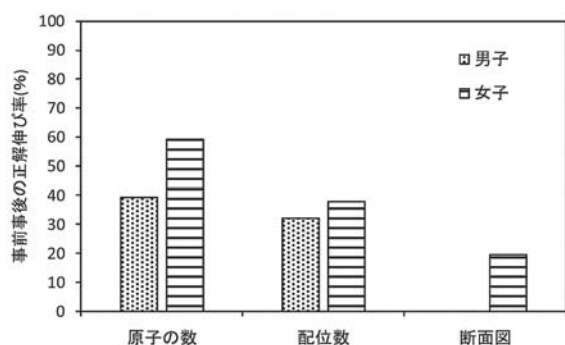


図13 客観評価の伸び率性別比較 (n = 143)

原子の数では、女子生徒の正解伸び率は男子生徒より約20%大きく、配位数では同比較で約6%大きかった。とくに断面図では、男子生徒の正解率が変化していないのに対して、女子生徒は約19倍に大きく上昇した。本結果が、OECD生徒の学習到達度調査などの一般的指標と異なる傾向を示したのは、対象を理系選択生徒に限定したことによる要因があると推測している。大学生を対象とした調査(村松編, 1996)では、理系の女子学生は、理系の男子学生よりも「専攻分野の勉強・実験などが好き」などの積極的な理由で進路を決めたものが多いとされている。

実践における行動観察からも、理系を選択した女子生徒は、先行研究と同様に意欲が高く、実験操作の把握などについて、主体的に探究し、かつ協働的に情報共有して、理解を深める傾向が認められた。具体的には、モデル教材の組み立て活動で、得られた結果に満足せず、よりよい方法がないかを班内で話し合う活動などが認められた。一方で、男子生徒は、正解と思われる成果を得ると思考を停止する傾向があり、結果についてより深い探究をする局面は少なかった。また、女子生徒と比較して、情報共有頻度が低く、互いに正解を確認し合うことで満足する場面が散見された。

性差による学習効果は、理系選択後の生徒を対象とした場合、OECD生徒の学習到達度調査とは異なり、「現象を科学的に説明する」領域での女子生徒と男子生徒の自己評価の伸び率は同等で、かつ客観評価の伸び率は女子生徒が高い傾向が示された。この客観評価の伸び率の違いは、理系を選択した女子生徒と男子生徒の学習意欲の違いとみなすことができそうだ。

5. まとめ

化学のなかでも幾何学による暗記に偏った学習が行われることの多い、金属の結晶構造の単元に注目し、モデル教材を用いた主体的・対話的な学習による、意識の変容と理解度を測定した。金属の結晶構造で重要になる4つの観点、単位格子の空間的配置、単位格子内の原子数、原子への配位数、単位格子内の原子の充填率を学習する手法を計画し、これらを組み合わせて、高等学校で実施可能な講義型、実験型、講義・実験型の3つの授業形式を設計した。

愛媛県内5校、計143名に実践を行い、自己評価と客観評価によって、意識の変容と理解度を調査した結果、講義・実験型、講義型において、有意な学習効果が認められた。とくに4つの観点すべてを学習する講義・実験型を実施した生徒は、金属の結晶構造について説明できる割合が有意に増加し、かつ客観評価の有意な向上からも理解の向上が示された。以上の結果より、個別の事実的な知識の蓄積になりがちな科学理論の学習において、自ら手を動かし、課題を発見して探究し、データの整理・分析によって、課題を解決する活動は、生徒の科学理論への理解を深めることが示された。モデル教材を用いた短時間の演習、たとえば単位格子組み立て競争などを繰り返し行うことで、空間的理解へのより深い理解促進が期待される。本授業の愛媛県の実情に即した導入方法としては、講義型を2時限で実施し、空き時間を利用した繰り返し演習によって空間的理解を涵養し、合わせて補習などの形式で実験型を実施することがもっとも望ましいと思われる。獲得した知識の社会の様々な場面への活用については、タイヤのゴムの構造や触媒の設計において、結晶構造の知識が役立っている点について授業内で紹介はしたが課題が残った。

また、女子生徒は一般に男子生徒よりも理数系を苦手とすると考えられているが、対象者の性別による自己評価および客観評価の伸び率比較の結果から、女子生徒の現象を科学的に説明する能力の伸び率は男子生徒と同等であり、かつ問題正解の伸び率は男子生徒に優ることが示された。

本研究で使用したモデル教材は、株式会社ナリカから市販されており、また自作も容易な教材である。高等学校の用途に合わせて内容を調整することで、すぐにでも実施が可能な状態にある。生徒が主体的に課題を設定して、実験によって検証し、データの整理・分析を通じて課題を解決する本手法について、高等学校の実践を支援していきたい。

引用文献

する学際的研究 (17H00821)」の支援を受けた。

- A. Ohashi (2015) "Using Latex Balls and Acrylic Resin Plates To Investigate the Stacking Arrangement and Packing Efficiency of Metal Crystals", *Journal of Chemical Education*, 92 (3), 512-516.
- 伊佐夏実, 知念渉 (2014) 「理系科目における学力と意欲のジェンダー差」, 日本労働研究雑誌, No.648, 84-93.
- 大学受験パスナビ (2017) 『2017年センター攻略への重要ポイント&対策法』旺文社 Retrieved https://passnavi.evidus.com/advice_subject/201605/08/ (2018, 7/9 現在)
- イザベル・アタネ, キャロル・ブリュージェイユ, ウィルフリエド・ロー, 土居佳代子 (翻訳) (2018), 『地図とデータで見る女性の世界ハンドブック』原書房.
- 亀田和久 (2004), 「大学受験を突破するためのテクニック! そんなものが存在するのか?」, 化学と教育誌, 第52巻11号, 760-763.
- 加藤巡一 (2009) 「理科教育と理科離れの実態 (三) 高校生・まとめ」, 神戸松蔭女子学院大学研究紀要, 人部科学・自然科学編, 50, 65-80.
- 国立教育政策研究所 (2016) 『OECD 生徒の学習到達度調査』 Retrieved http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2015/03_result.pdf (2018, 7/9 現在)
- 文部科学省 (2010) 『平成20年度版高等学校理科教員実態調査』 Retrieved http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/highschool/cpse_report_005_1.pdf (2018, 7/9 現在)
- 文部科学省 (2017) 『新しい学習指導要領の考え方』 Retrieved http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afeldfile/2017/09/28/1396716_1.pdf (2018, 7/9 現在)
- 村松泰子編 (1996) 『女子の理系能力を生かす—専攻分野のジェンダー分析と提言』日本評論社.
- 村田滋 (2004) 「全国高校化学グランプリ 2003 第一次選考報告 (その2)」, 化学と教育誌, 第52巻4号, 264-270.
- R. E. O'Dea, M. Lagisz, M. D. Jennions & S. Nakagawa (2018), "Gender differences in individual variation in academic grades fail to fit expected patterns for STEM", *Nature Communications*, Vol.9, Article number: 3777.
- 辰巳敬 (2016) 『化学』, 『化学基礎』数研出版

謝辞

本実施においてご尽力をいただきました愛媛県総合教育センターをはじめとした各高等学校教員のみなさま, および授業に参加いただいた生徒のみなさまに深く感謝いたします。また授業実施に協力いただいた宮島幸輝さんをはじめとして多くの本学教育学部生にご協力いただきました。

本研究は, 科研費基盤 (A) 課題研究名「ジェンダー・地域格差に配慮したSTEAM才能教育カリキュラムに関