

## 理科の単元系統性とコア単元 —— スパイダーウェブによる単元系統解析 ——

岡 本 和 明	埼玉大学教育学部自然科学講座
大 塚 裕 加 里	埼玉大学教育学研究科
三 上 裕 香	埼玉大学教育学研究科
エレネ・オチル・アリウンボヤン	埼玉大学教育学研究科

キーワード: 小・中理科学習指導要領、理科単元表、単元学習評価、単元系統性、  
コア単元

### 1. はじめに

科学技術立国であった日本において、学校教育での科学力の育成は、科学技術再生のために大変重要である。それでは科学力の育成に、学校教育のどの教科が重要であるだろうか？理科である、と答えたいところであるが、残念ながらそうとも言えない。なぜなら、科学力には創造性や思考力が重要な役割を果たすからである。科学が「昨日までわからなかったことを、今日や明日理解できるようになる」という活動であるならば、理科は、科学の先行研究で明らかになった既知事項の系統的、あるいは段階的学習ということになる。つまり、すでに人類が明らかにした科学的事実を知識や技術として学習することが、理科学習ということになってしまう可能性すらある。もちろん、基礎科学の学習には、段階的、系統的理解が不可欠である。物理学は、特にその傾向が強いと言えよう。地学は、高校で文系の学生が選択学習する傾向にあるが、実際に研究する段階になると、地球惑星科学、天文学が含まれるので、当然物理学と深い関係にある。さて、理科は、「第一分野」、「第二分野」と細分され、小・中の学習指導要領では、「エネルギー」「粒子」「地球」「生命」に細分される。高校では、「物理」「化学」「生物」「地学」に細分される。第一分野、第二分野という区分は、非常に単純に考えると「手法」と「対象」という区分に等しい。この区分で考えるならば、思考力は地球や生命が含まれる第二分野でおおいに育成される。なぜならば、地球や生命に関する研究の場合、研究試料や研究対象に複雑な様々な情報が含まれている。そして、その中から特定の因果関係や法則性を導き出す必要があるからだ。帰納的であるとも言える。一方、特定の自然現象に対象を絞って、それを検証する実験や分析方法を用いる第一分野（物理、化学）では、問題解決能力がより育成されることとなる演繹的な側面がある。もちろん実際に研究を行うと、そんなに単純に区分されるわけではない。むしろ、各分野における単元単位で、手法が限定され、対象が限定される。したがって、単元ごとに科学的思考力や問題解決能力の育成を考えるべきである。

科学的思考力の育成だけでなく、理科の学習評価を厳密に扱うためにも、単元ごとの学習、単元ごとの評価が重要である。単元末試験、全国学力試験では、単元での学習内容に関する問題が提示される。試験答案の評価において、誤答解析をどれだけ精密かつ正確に行うかが、単元学習の向上の鍵となる。誤答原因が、単元内での学習に起因する場合は、解析は簡単にすむ。しかし、実際には、ある単元において、既習単元や未修単元、分野を超えた単元や科目を超えた単元での学習内容と関わっていることが多い。それゆえ、単元の系統性を理解して、単元指導や単元末学力試験問題を作成することができれば、既習単元内容

から発展された学習や、単元同士の知識を統合する思考の育成となる。逆に言うと、各単元がそれぞれ完全に独立した内容であれば、知識をより深い思考へと活かせる機会が少ないということになる。単元同士の系統性は、特に、分野を超えている場合重要である。本稿では、小学校、中学校理科の単元表を作成した。そして、埼玉大学教育学部理科専修の学生を対象に、関連のある単元同士を線で結ぶ作業を行ってもらった。その結果、1) 個々の学生の学習分野には偏りがあり、それが単元系統に影響していること、2) コア単元は、個々の学生の学習成果に関連している可能性が明らかとなった。単元系統表の作成は、大学生の理科の学習到達度や偏りの指標になりうる。また、分野内単元系統と分野外単元系統を「地球」の「地球の内部と地表面の変動」の学習指導する観点から行った。単元同士のつながりが収束する重要な単元をコア単元と名付けた。さらに、どの単元がコア単元になるかを明らかにした。以下、解析の詳細を記述したい。

## 2. 小・中理科単元表

小学校・中学校理科単元表は、学習指導要領解説書（理科編）<sup>1) 2)</sup>での単元表に基づき作成した（図1）。

	エネルギー				粒子				生命				地球								
	エネルギーの捉え方		エネルギーの変換と保存		エネルギー資源の有効活用		粒子の存在		粒子の割合		粒子の保存性		粒子のもつエネルギー		地球の内部と地表面の変動		地球の大気と水の循環		地球と天体の運動		
小学校	第3学年	風と波の力の働き	光と音の性質	磁石の性質	電気の働きと通り道																
	第4学年				電気の働き																
	第5学年				振り子の運動																
	第6学年				てこの規則性																
中学校	第1学年	力の働き	光と音																		
	第2学年				電流																
	第3学年	力のつり合いと合成・分解			電流と磁界																
	第4学年	運動の規則性																			
高等学校	第1学年	運動の表し方																			
	第2学年				力学的エネルギー																
	第3学年	様々な力とその働き																			
	第4学年	力学的エネルギー			エネルギーと物質																

図1 小学校・中学校・高等学校理科単元表。小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編の図を改変。

理科すべての分野の単元表は、学習指導要領や解説書では見受けられない。例えば、小学校学習指導要領（平成29年告示）解説、理科編<sup>1)</sup>では、1) 小学校・中学校理科の「エネルギー」、「粒子」を柱とした内容の構成図、2) 小学校・中学校理科の「生命」、「地球」を柱とした内容の構成図として示されている。これらの図では、分野内での専門区分（例えば、「地球」では、地球の内部と地表面の変動、地球の大気と水の循環、地球と天体の運動）、単元で扱う項目を数個提示している（例えば、小学校第3学年、「太陽と地面の様子」という単元の場合、・日陰の位置と太陽の位置の変化、・自然の暖かさや湿り気の違い）。解説書を読みなが

ら、単元目標を確認するには便利である。本稿では、単元の系統性を理解するために、理科すべての単元を学年と分野、項目ごとに並べて観察したい。この作業は、理科の単元全体の鳥瞰図の作成である。理科の単元全体を俯瞰することの重要性については、後ほど議論する。

### 3. 単元系統表

「エネルギー」「粒子」「地球」「生命」という分野ごとに単元の系統性があるのは、学校教員には自明である。しかし、学習者は、分野内の系統性を十分には理解していない。単元学習の導入で、既習単元との関係を指導者も学習者も厳密に理解することは、実は大変重要である。さらに、分野を超えた単元系統性を理解することができれば、知識と知識、概念と知識を結びつけるし思考力の育成や既存の知識を基に、実験や観察内容を理解する問題解決能力の育成が可能となる。

本稿で紹介する単元系統表は、2020年5月11日、12日に行われた埼玉大学教育学部の地学実験の課題として作成されたものの中から、単元内容を正確に把握できている解析例を1例ずつピックアップした(図2、図3)。図4は、筆者の1人大塚の解析結果である。

	エネルギー			粒子			生命			地球		
	エネルギーの捉え方	エネルギーの変換と保存	エネルギー資源の有効活用	粒子の存在	粒子の割合	粒子の持つエネルギー	生物の構造と機能	生命の連続性	生物と環境の関わり	地球の内部と表面の変動	地球の大気と水の循環	地球と天体の運動
小学校	風とゴムの力の働き 磁石の性質 電気の働き	光と音の性質 磁石の性質 電気の働き	電気の働き 電流が作る磁力	空気と水の性質 物と重さ	物と重さ 金属・糸・空気と温度	身のまわりの生物 季節と生物	身のまわりの生物 季節と生物	身のまわりの生物 季節と生物	身のまわりの生物 季節と生物	雨の行方と地面の様子 流れる水の働きと大地の変化	大気の様子 大気の変化	太陽と地面の様子 月と星
中学校	力の働き 電流 電流と磁界 力のつり合いと合成・分解 運動の規則性	力の働き 電流 電流と磁界 力のつり合いと合成・分解 運動の規則性	電流 電流と磁界 電流が作る磁力	環境の仕組み 物質のすがた 物質の成り立ち	水溶液の性質 水溶液とイオン 化学変化 化学変化と物質の質量	植物の生長と分類の仕方 動物の生長	植物の生長と分類の仕方 動物の生長	植物の生長と分類の仕方 動物の生長	植物の生長と分類の仕方 動物の生長	身近な地形や地層 岩石の観察 地層の重なりと過去の様子 火山と地震 自然の恵みと火山災害・地震災害	気象観測 天気の変化 日本の気象 自然の恵みと気象災害	月と星 太陽系と恒星
高等学校	運動の表し方 様々な力とその働き 力学的エネルギー	波 熱 電気 力学的エネルギー エネルギーとその利用	波 熱 電気 力学的エネルギー エネルギーとその利用	化学と物質 物質の構成粒子・物質と化学結合 物質の質量と化学反応式	化学と物質 物質の構成粒子・物質と化学結合 物質の質量と化学反応式 化学反応 化学が拓く世界	生物の構造と機能 生命の連続性 生物と環境の関わり 生物の成長と進化 遺伝子 生物の種類の多様性と変化 生物と環境 自然環境の保全と科学技術の利用	生物の構造と機能 生命の連続性 生物と環境の関わり 生物の成長と進化 遺伝子 生物の種類の多様性と変化 生物と環境 自然環境の保全と科学技術の利用	生物の構造と機能 生命の連続性 生物と環境の関わり 生物の成長と進化 遺伝子 生物の種類の多様性と変化 生物と環境 自然環境の保全と科学技術の利用	生物の構造と機能 生命の連続性 生物と環境の関わり 生物の成長と進化 遺伝子 生物の種類の多様性と変化 生物と環境 自然環境の保全と科学技術の利用	天体の動きと地球の自転・公転 太陽系と恒星	天体の動きと地球の自転・公転 太陽系と恒星	天体の動きと地球の自転・公転 太陽系と恒星

図2 小学校・中学校・高等学校理科単元表. 2020年5月11日の地学実験課題での解析例.

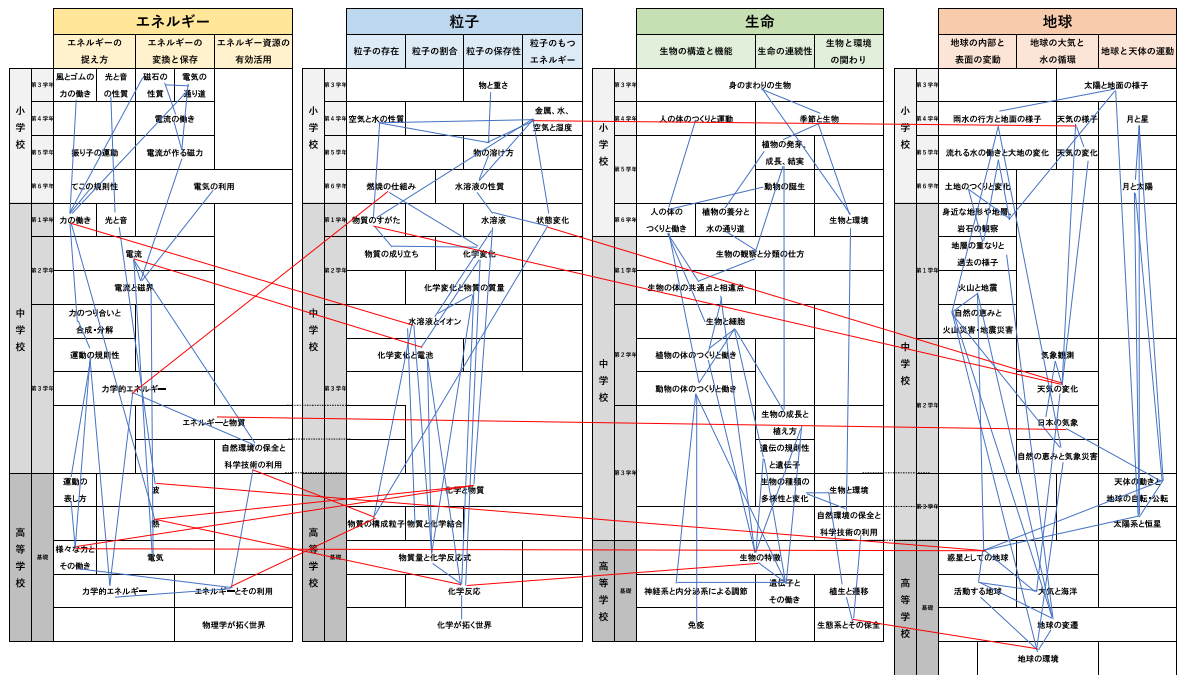


図3 小学校・中学校・高等学校理科単元表. 解析例2.

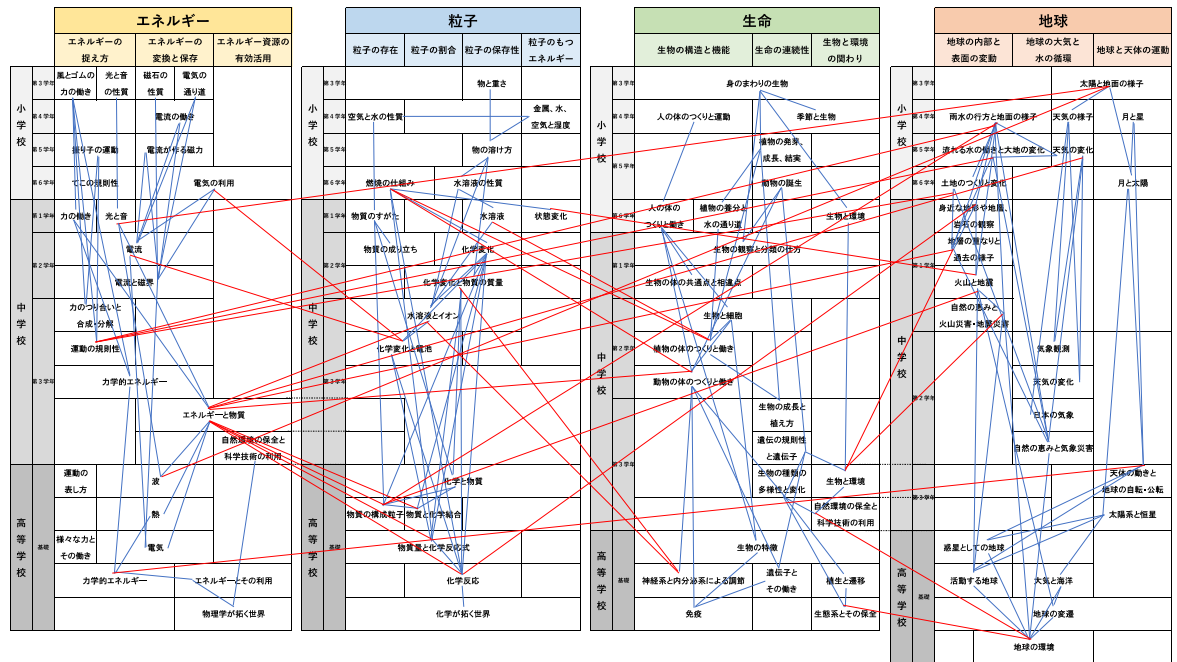


図4 小学校・中学校・高等学校理科単元表. 大塚による解析.

図2、図3、図4では、同一分野内の単元系統は青色、他分野の単元との系統は赤色で示されている。分野内、分野外の単元系統性について3-2、3-3で述べる。

### 3-1 個々の学習履歴に依存する単元系統の意味と評価

図2、図3、図4で示される単元系統性は、それぞれ異なる。これは、予想外の結果であると同時に、重要な発見となった。3つの解析結果の比較から、以下の2つの大きな特徴が挙げられる。1) 分野内の系統性が、それぞれの解析で異なる。2) 分野内の系統性が顕著な単元から分野外の系統を示す線が射出されている。1)の特徴は、解析者が中学校、高等学校で深く学習した分野内の系統性がよく理解されているからだと考えられる。2)の特徴は、詳しく学習した分野を中心に、分野外の単元の内容を理解していることを反映している。つまり、単元系統解析は教育学部理科分野に所属する学生の学習履歴と学習深度の解析のツールとなりうる。さらに、解析者自身が、自己の学習履歴と理解深度を把握できる可能性がある。次項では、分野内の単元系統と分野外の単元系統を持つ個々の単元名を説明する。1) 個々の学習履歴の影響を少なくすること、2) 地球分野（地球内部と表面の変動）の単元学習を中心とした単元系統性を理解するため、岡本が作成した単元系統図（図5）を用いる。

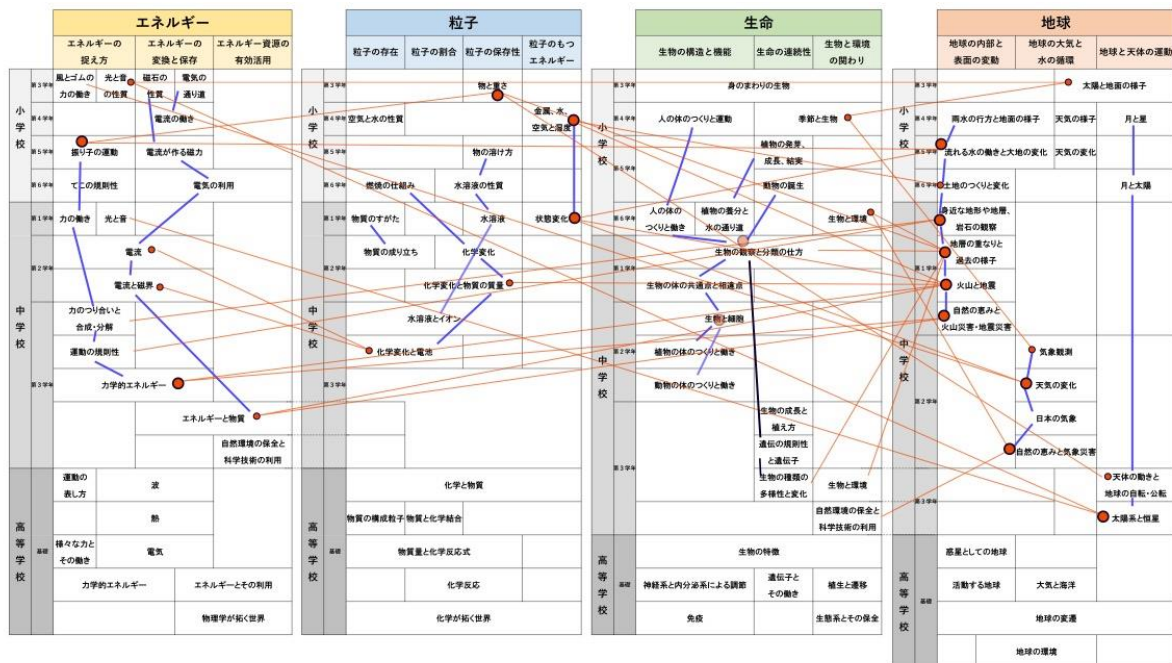


図5 小学校・中学校・高等学校理科単元表。岡本による解析。赤丸はコア単元。

### 3-2 分野内の単元系統

エネルギーの「エネルギーの捉え方」では、小学校第5学年の「振り子の運動」、中学校第1学年の「力の働き」第3学年の「力のつり合いと合成・分解」「運動の規則性」「力学的エネルギー」が系統性を持っている。「エネルギーの変換と保存」でも、小学校第3学年の「磁石の性質」「電気の通り道」、第4学年の「電流の働き」、第5学年の「電流が作る磁力」、第6学年の「電気の利用」、中学校第2学年の「電流」「電流と磁界」、中学校第3学年の「エネルギーと物質」という系統性がある。

同一分野、項目内での系統性は、「粒子」でも確認できる。小学校第4学年の「金属、水、空気と温度」は、中学校第1学年の「状態変化」と強い関連がある。小学校第5学年の「物の溶け



方」、第6学年の「水溶液の性質」、中学校第1学年の「水溶液」、第3学年の「水溶液とイオン」は系統性がある。水の性質の学習は、他分野である「生命」「地球」の学習とも深い関係があり、そのことについて別の機会に述べたい。小学校第6学年の「燃焼の仕組み」、中学校第2学年の「化学変化」「化学変化と物質の質量」、第3学年の「化学変化と電池」は系統性がある。

第二分野の「生命」では、同一分野内の単元「生物の構造と機能」において、小学校第4学年「人の体のつくりと運動」、第6学年「人の体のつくりと働き」、中学校第1学年「生物の観察と分類の仕方」「生物の体の共通点と相違点」、第2学年「生物と細胞」「植物の体のつくりと働き」「動物の体のつくりと働き」に系統性がある。また、中学校第1学年「生物の観察と分類の仕方」は中学校第3学年の「生物の成長と殖え方」「遺伝の規則性と遺伝子」「生物の種類の多様性と進化」に系統性がある。

「地球」においては、さらに項目ごとの系統性は顕著である。「地球の内部と地表面の変動」では小学校第4学年「雨水の行方と地面の様子」第5学年「流れる水の働きと土地の変化」第6学年「土地のつくりと変化」の系統性がある。また、中学校第1学年「身近な地形や地層、岩石の観察」「地層の重なりと過去の様子」「火山と地震」「自然の恵みと火山災害・地震災害」の単元に強い関連性がある。「地球の大気と水の循環」では、中学校第2学年の「気象観測」と「天気の変化」「日本の気象」「自然の恵みと気象災害」の単元に系統性がある。また「地球と天体の運動」には、小学校第4学年「月と星」、第6学年「月と太陽」、中学校第3学年「天体の動きと地球の自転・公転」「太陽系と恒星」の単元に系統性がある。

### 3-3 分野を超えた単元系統

分野を超えた単元同士のつながりは、図2、図3、図4に示されるように、解析者によって異なる。解析者ごとの分野外の単元系統の詳細や意義については、後に議論する。筆者らは、地学（地球惑星科学）の研究、教育に関わっている。よって本稿では、「地球」の単元と他分野の単元の関連について特に詳しく述べる。

小学校第3学年の「エネルギー」の「風とゴムの力の働き」「光と音の性質」は、「地球」の「天気の変化」（中学校第2学年）、「太陽と地面の様子」（小学校第3学年）「太陽系と恒星」（中学校第3学年）と関連がある。「粒子」の「物と重さ」は、「エネルギー」の「振り子の運動」（小学校第4学年）、「地球」の「身近な地形や地層、岩石の観察」（中学校第1学年）、「天体の動きと地球の自転・公転」（中学校第3学年）と関連がある。「地球」の「太陽と地面の様子」は、「生命」の「季節と生物」（小学校第4学年）と関連がある。

小学校第4学年の「粒子」の単元「金属、水、空気と温度」は、「地球」の「土地のつくりと変化」（小学校第5学年）、「火山と地震」（中学校第1学年）と関連がある。また、「生物」の単元「季節と生物」は、「地球」の「地層の重なりと過去の様子」（中学校第1学年）、「気象と観測」（中学校第2学年）と関連がある。

小学校第5学年の分野外単元系統性は、上述されている「エネルギー」の単元である「振り子の運動」、「地球」の単元「流れる水の働きと大地の変化」で確認される。

小学校第6学年では、地球の「土地のつくりと変化」「天気の変化」が上述しているようにそれぞれ系統性をもっている。

中学校第1学年、「エネルギー」では、「光と音」が「地球」の「太陽系と恒星」（第3学

年)、「粒子」の「状態変化」が「地球」の「流れる水の働きと大地の変化」「天気の変化」(小学校第5学年)と関連性がある。「地球」の「身近な地形や地層、岩石の観察」は、「エネルギー」の「力のつり合いと合成・分解」「運動の規則性」(中学校第3学年)と関連がある。「地層の重なりと過去の様子」は、「生命」の「生物と環境」(小学校第6学年)、「生物の観察と分類の仕方」(中学校第1学年)、「生物の種類の多様性と進化」「生物と環境」(第3学年)と深い関連がある。「火山と地震」「自然の恵みと火山災害・地震災害」は、「エネルギー」の「運動の規則性」「力学的エネルギー」「エネルギーと物質」(中学校第3学年)、「粒子」の「状態変化」(第1学年)と関連がある。

中学校第2学年「エネルギー」の「電流」「電流と磁界」は、「粒子」の「化学変化と電池」(中学校第3学年)が関連を持っている。「粒子」の「化学変化と物質の質量」は、「地球」の「火山と地震」(第1学年)と関連がある。「地球」の「自然の恵みと気象災害」は、「生命」の「生物と環境」「自然環境の保全と科学技術の利用」と関連がある。

中学校第3学年の単元の系統性は、上述されている。小学校、中学校の分野外単元系統性から理解できるのは以下の通りである。

1. 小学校第3学年、第4学年、中学校第1学年には、分野外単元系統性がある単元が多く配置されている。
2. 小学校第6学年、中学校第3学年の単元には総括的な単元が存在するが、他分野の単元との関連性は意外と少ない。
3. 単元ごとの関連性は、双方向性のものと一方向性のものがある。

#### 4. コア単元解析と今後の展望

本研究の単元系統図で、分野内および分野外の系統性は、単元同士をつなぐ線(単元系統線)で表現されている(図2、3、4、5)。単元系統線が集約、収束する単元を、コア単元と呼ぶことにする。コア単元は、図5の赤丸で示されている単元であり、小さな丸は分野外の2つの単元からの線(単元系統線)が収束する点である(図5)。大きな丸は、分野外の3つの単元からの線の収束、もしくは分野外の2つの単元と分野内の単元からの線の収束するコア単元を意味する(図5)。以下に各学年のコア単元を記述する。

##### 小学校第3学年

「エネルギー」の「光の音の性質」、「粒子」の「物と重さ」、「地球」の「太陽と地面の様子」

##### 小学校第4学年

「粒子」の「金属、水、空気と温度」、「生命」の「季節と生物」

##### 小学校第5学年

「エネルギー」の「振り子の運動」、「地球」の「流れる水の働きと大地の変化」

##### 小学校第6学年 「生物」の「生物と環境」、「地球」の「土地のつくりと変化」

##### 中学校第1学年

「粒子」の「状態変化」、「生命」の「生物の観察と分類の仕方」、「地球」の「身近な地形や地層、岩石の観察」「地層の重なりと過去の様子」「火山と地震」「自然の恵みと火山災害・地震災害」

### 中学校第2学年

「エネルギー」の「電流」「電流と磁界」、「粒子」の「化学変化と物質の質量」、「地球」の「気象観測」「天気の変化」「自然の恵みと気象災害」

### 中学校第3学年

「エネルギー」の「力学的エネルギー」「エネルギーと物質」、「地球」の「天体の動きと地球の自転・公転」「太陽系と恒星」

コア単元は、小学校第3学年、中学校第1学年および第2学年に多い。よって、これらのコア単元の学習が十分でなければ、その後の系統単元の学習に影響が出るであろう。また、小学校第6学年、中学校第3学年にコア単元があれば、個々の単元で得た知識を統合することや復習ができるはずだ。科学技術力育成のためのコア単元の学習指導については、別の機会に以下の項目で記述したい。1) コア単元を生かす理科のカリキュラムマネジメント。2) コア単元指導要領。3) コア単元の実験、観察授業。4) コア単元の学力試験問題。これらのうち、1)、2)、3)に関しては、本稿とは異なる目的の解析実践例がすでに報告されている<sup>3) 4) 5)</sup>。

### 謝辞

本稿で解説した実験は、2020年度前期に埼玉大学教育学部理科専修の地学実験の課題とその解析結果の一部をまとめたものである。本研究をおこなうにあたり、埼玉大学教育学部理科専修の2年生から支援を頂いた。

### 引用文献

- 1) 文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編,94-111.
- 2) 文部科学省 (2018) 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編, 78-98.
- 3) 池戸美菜 (2019) 義務教育 9 年間を見通し教科の系統性を踏まえた学習指導の研究 -理科における「系統性を踏まえた学習指導の研究一、神奈川県立総合教育センター長期研究員報告, 17, 55-60.
- 4) 渡邊重義 (2015) 鍵教材とプロセス・スキルによる小・中学校理科カリキュラムの構造化, 日本科学教育学会研究会研究報告, 30, No. 2, 67-70.
- 5) 埴田剛, 谷滋 (2004) 小中学校理科の学習内容の系統性や関連性を重視した授業づくりへの提言 -指導資料集の作成を通して-, 群馬県総合教育センター平成 16 年度報告書, 218, G04-01

(2020年9月30日提出)  
(2020年11月10日受理)