

## 系統分類学的研究を理解するための読解方法に関する基礎的研究

— 研究論文の比較を通して —

中村 大輝・富川 光・松浦 拓也

本研究では、生物の系統分類に関する重要な2本の研究論文の読解を通して、①系統分類学における研究内容の発展を読み取る方法と研究論文の比較の視点を明らかにすること、②系統分類の単元の指導に際してどのような学習効果が期待できるのかという教材研究への示唆を導出することを目的とした。対象として Whittaker (1969) による5界説の提唱、および Woese et al. (1990) によるドメインの提唱に関する論文を取り上げ、「研究手法」「他領域からの影響」「背景にある流れ」について比較・検討した。その結果、情報収集技術や他の学問領域の発展といった研究基盤の変化が系統分類学の方法論や分類体系の構築に影響を与えていること、研究手法の変化と他の学問領域の発展は相互に関連しながら系統分類学に影響を与えていること、研究領域を貫く重要な流れや問題意識が存在することが明らかになった。また、対象論文が後の研究へ与えた影響を比較することで、各論文で論じられている内容の特徴をより客観的に整理し、対象論文の特徴を比較可能であることが分かった。さらに、それらの読解を教材研究へ反映することを検討した結果、研究内容の発展の読解と比較が、科学の特質の指導に有効であることや、系統分類の単元におけるより深い理解に繋がることが示唆された。

キーワード：研究内容の発展、系統分類学、5界説、3ドメイン、科学の特質

### **A Reading Method to Understand Phylogenetic Research: Comparing Research Papers**

Daiki Nakamura, Ko Tomikawa and Takuya Matsuura

This study examines two significant research papers on the biological classification system. It aims to clarify methods for comprehending the development of research content in phylogenetic systematics and the comparative view of research papers on the subject. Furthermore, it also attempts to derive the methods' implications on the research of teaching materials in terms of the kind of expected learning effect when teachers teach phylogenetic systematics units. The study focuses on Whittaker's (1969) proposal of the 5-kingdom system and on the paper concerning Woese et al.'s (1990) proposal of the 3 domains. It compares and examines their "research methods," "influences from other areas," and "background flow." The results reveal that changes in research resources, such as the development of information gathering technology and developments

in other academic areas, have influenced the methodology and classification system of phylogenetic systematics. It also indicates that changes in research methods and developments in other academic areas, whilst being interrelated, have influenced phylogenetic systematics and there exists a critical flow and awareness of the problem that was penetrating the area of research. Moreover, it shows that by comparing the target studies' effects on subsequent research, the content discussed in each of the papers could be organized much more objectively and the target papers' points could be much more easily comparable. Furthermore, when investigating how the reading of these papers was reflected in research on teaching materials, the results suggest that by reading and comparing the development of the research content, scientific properties could be taught more efficiently, and it led to a deeper understanding of the phylogenetic systematics unit.

Keywords : Development of Research Content, Phylogenetic Systematics, 5-Kingdom System, 3 Domains, Nature of Science

## 1. 研究の背景

1990年、微生物学者のカール・リチャード・ウーズらによって、生物の新しい分類体系である3ドメイン説が提案された（Woese et al., 1990）。それまでの系統分類が生物の生態学的形質や形態学的形質に注目したものだったのに対して、ウーズらは16SリボソームRNA遺伝子の塩基配列に注目した点で、従来の体系分類法と大きく異なる。この分類法は系統分類学に大きな影響を与え、従来の分類体系は大幅な見直しを迫られた。

このような分類の大きな転換は、一般専門書や、学校教育課程にも影響を与えている。生物学において発行部数の多い一般専門書である『キャンベル生物学』においては、初版（Campbell, 1987）では5界説に基づく生物の分類と進化が掲載されているのに対し、現行の第9版（Reece et al., 2011）では、系統は形態と分子データから推定されるとした上で、5界説といった過去の分類システムは3ドメインから構成される新しい系統樹に見解を譲ったとされている。また国内では、生物の系統分類について、平成11年版高等学校学習指導要領解説理科編・理数編においては、「界から種以下のレベルに至る分類の階層や種の命名法についても具体的な例を示して扱う。」と記述され、5界説に基づく分類と進化の推定を指導することが示されていた（文部省, 1999）。一方、現行の平成21年版高等学校学習指導要領解説理科編・理数編においては、「ドメインや界・門などの高次の分類群を中心に扱うこと。」と記述され、界・門といった高次分類とともに3ドメインによる分類を指導することが示されている（文部科学省, 2009）。

3ドメイン説の指導に関して加藤ほか（2014）は、各ドメインを単に羅列するだけでなく、ドメインの構築プロセスを示しながら指導することの必要性を指摘している。また、系統分類を行う上での基礎である「進化」

の考え方について、佐藤・大鹿（2005）は進化に関する教材研究の少なさを示した上で、「専門的領域からの基礎的データ・トピックスの収集、身近な材料を用いた実証的な実験・観察の確立が重要であると考えられる。教材となる前段階としての素材を増加させた上で、学習方法や指導方法について開発研究を行うことが望ましい」と述べ、教材化に関する基礎研究の重要性を指摘している。このように、理科の教員には系統分類に関する専門的領域からの情報収集と教材研究が求められていると言える。しかし、系統分類の領域における研究内容の発展を読み取るための具体的な文献読解方法は明らかにされていないのが現状である。

## 2. 研究の目的と方法

### （1）研究の目的

本研究では、理科の教師が複数の論文を読み解き教材研究を行う実態に即し、生物の系統と分類に関する複数の研究論文の読解と比較を通して、①系統分類学における研究内容の発展を読み取る読解方法と比較の視点を明らかにすること、および②教材研究への示唆を導出することを目的とする。

### （2）研究の方法

本研究では、従来の分類体系に大きな変更を迫った重要な論文を2本扱う。1本目は、かつて植物と動物という二分法に大きな変更を迫り、現在の生物の教科書で最も一般的に扱われている5界説を提唱した論文（Whittaker, 1969）である。2本目は、リボソームRNA遺伝子の塩基配列に基づき、界よりも高次の分類階級を提唱した論文（Woese et al., 1990）の2本である。それぞれの研究論文の主題、構成・構造、研究内容を読解した上で、2つの論文の比較を通して系統分類領域における研究内容の発展を分析する。またそれらの分析を通して、研究内容の発展を読み取る

読解方法および、比較の際に注意を向けるべき視点を導出する。

### 3. 対象論文の構成と構造

本章では、まず対象論文の概要を章構成に基づいてまとめ、次に「問い」と「答え(主張)」の観点から構造化する。

#### (1) Whittaker (1969) の構成

ここでは、5界説を提案した論文として、Whittaker (1969) 「New concepts of kingdoms of organisms」を扱う。本論文の構成は次のようになっている。

1. Two-Kingdom System
2. Limitation of the Two-Kingdom System
3. The Copeland Four-Kingdom System
4. Limitation of the Copeland System
5. A Five-Kingdom System
6. Limitations of the Five-Kingdom System
7. Conclusion and Summary

#### 1. Two-Kingdom System

第1節では始めに、人類がかつて長い間採用してきた動物と植物という分類について、栄養の摂取法や運動性の有無で分類が成されてきたことを紹介している。その上で、菌や細菌といったどちらかへの分類が困難な例を紹介して、これに替わる新しい分類の必要性を確認している。また、2界説は今となっては理にかなったものではないことを確認した上で、2界説の限界をはっきりさせるために、さらなる詳細なレビューを行うことを提案している。

#### 2. Limitation of the Two-Kingdom System

第1節の提案に基づき、第2節では4つの視点から2界説による分類の限界について論じている。

1つ目の視点は、原生生物の扱い方につい

てである。リンネが示した、生物を動物と植物の2つに分類する考え方 (Linnaeus, 1758) では、ユーグレナのように動物と植物の両方の性質を併せ持つ単細胞生物の分類が困難である。そこで、ヘッケルによって単細胞生物を1つの分類群としてまとめた原生生物界が提案された (Haeckel, 1866)。その後、単細胞生物の中で核や細胞小器官などの膜構造がないものが発見されたことから、ホッグやコープランドによって原核生物 (モネラ) 界が提案された。また、コープランドは藻や菌類を植物界から除き、原生生物 (プロチスタ) 界に加えることを提案している (Copeland, 1938)。このような経緯を経て分類が細分化されていったことから、原生生物の扱い方という観点から見て、動物と植物という2分類には限界があることを指摘している。

2つ目の視点は、原核生物の扱い方についてである。3界説を提唱したヘッケルは、細菌も藍藻類も原生生物とみなし、それらの原生生物を原核生物 (サブグループモネラ) として組み入れていたことである。しかしその後の研究で、細菌と藍藻類の重大な違いとして、オルニチンの合成法やステロールの生成、抗生物質への感度や細胞壁の構成といった違いが明らかになり、原生生物界と原核生物界が区別されるようになったことがまとめられている。また、原核生物と真核生物の違いについて、マーギュリスの共生説の考えを用いて説明を行ったうえで、原生生物と原核生物の分類の根拠として、細胞的・生化学的な特徴の違いが挙げられている。

3つ目の視点は、菌類の扱い方についてである。従来、菌類は植物界に分類されていたが、起源・進化の道筋に違いがある、異なる組織を異なる栄養獲得に当てていることから、菌界を独立のものとして扱うべきだと指摘している。

4つ目の視点は、栄養摂取の様態の捉えによるものである。生物は3つの栄養摂取の様

態（光合成による有機物の生産，有機物の消費利用，有機物の分解還元）に分類でき，それぞれ植物界，動物界，菌界と対応する。また，それらは進化の異なる道筋とも対応するという考えを示している。

### 3. The Copeland Four-Kingdom System

第3節では，コープランドの4界説の成立過程について，特にモネラ界の成立に焦点を当てながら考察している。また，各界の中身について，その詳細と特徴をまとめている。

### 4. Limitation of the Copeland System

第4節では，コープランドの4界説の限界について以下の3点を指摘している。①栄養摂取法から見ると植物界は光合成，動物界は捕食によるものであるが，植物界に分類されている菌類はどちらにも該当しないものである。②単細胞生物から構成されるはずの原生生物界に，多細胞の菌類や藻類が混ざっている。③4つの界の内，原生生物界だけ多様な分類群を含んでおり，まとまりと明快さに欠ける。

### 5. A Five-Kingdom System

第5節では，5界説に至る過程を説明している。まず，生物を原核生物と真核生物のレベルに分け，原核生物レベルには細菌類や藍藻類を含ませモネラ界とよび，真核生物のレベルをさらに単細胞生物と多細胞生物に分ける。その内，単細胞生物の中には植物的な生活を営む種と動物的な生活を営む種，両方の生活を合わせてもつ種が実在し，全体としては植物とも動物ともはっきりとは決められない生物が含まれる。そこで，この分類群を動物でも植物でもない原始的な分類群として，原生生物界とよんだ。多細胞生物は，栄養獲得の様態によって，植物界・菌界・動物界の3つに区分される。このように，植物界，菌類界，動物界，原生生物およびモネラ界の五界へ分類すること（5界説）を提案している。

### 6. Limitations of the Five-Kingdom System

第6節では，5界説の問題点について以下の3点を指摘している。①原核生物界，原生生物界，菌界の区別では説明できない事例がある，②原核生物界，原生生物界，菌界は多系統であり，異なる複数の進化的系統を含んでいる，③原生生物界は相互接続した進化の関係により多系統になっている。

また，栄養摂取の様態による区別の例外を挙げている。

### 7. Conclusion and Summary

第7節では，2界説の問題点として，単細胞生物を不自然に分類していること，バクテリアや菌類の弁別性を十分に扱わず，器官レベルの差異の違いを無視していたことを挙げた上で，これらの問題を解決したコープランドの4界説，栄養摂取の様態による分類を組み込んだ自身の5界説は，2界説よりも効果的な分類であると結論づけている。また，2界説の考え方の背景として，生物についての知見が植物と動物に偏っていたことを挙げ，分類について議論を重ねていくことの意義を強調している。

### (2) Whittaker (1969) の構造

本節では，構成に従って概観した内容を基に対象論文における「問い」と対応する「答え（主張）」を整理し，それらの対応関係から対象論文の構造を明らかにする。

はじめに，先行研究において袴田ほか(2015)が用いている方法を参考にして，対象論文における主な問い（MQ）と主な主張（MA）を以下のように抽出した。

MQ：進化の関係を表すより良い分類法はどのようなものか（2界説に代わるよりよい分類法を導き出す）。

MA：栄養摂取の方法が生物の進化の方向を把握する上で重要であり，それに基づいた分類（5界説）により，生物の進化の関係を表すことができる。

論文の内容を「問い」の観点からさらに分析すると、MQ を解決するためにいくつかの補助的な問い (SQ<sub>s</sub>) を設定していることが示唆される。それらを抽出すると、以下のようになる。

- SQ<sub>1</sub> : 現状の分類の問題点はなにか  
SQ<sub>1-1</sub> : 2界説による分類の問題はなにか  
SQ<sub>1-1-1</sub> : 原生物はどのように扱われているか  
SQ<sub>1-1-2</sub> : 原核生物はどのように扱われているか  
SQ<sub>1-1-3</sub> : 菌類はどのように扱われているか  
SQ<sub>1-1-4</sub> : 栄養摂取の様態という観点から見るとどうか  
SQ<sub>1-2</sub> : 4界説による分類の問題はなにか  
SQ<sub>1-2-1</sub> : 4界説はどのように成立したか  
SQ<sub>1-2-2</sub> : 菌類はどのように分類されるか  
SQ<sub>1-2-3</sub> : 原生物界の分類は妥当か  
SQ<sub>2</sub> : 生態学的観点から考えるとどのような分類が可能か  
SQ<sub>2-1</sub> : 単細胞生物はどのように分類できるか  
SQ<sub>2-2</sub> : 栄養獲得の様態から考えると、多細胞生物はどのように分類できるか  
SQ<sub>2-3</sub> : そのような分類の問題点はなにか

このように、補助的な問い (SQ<sub>s</sub>) は、問題となる分類事例や新たな視点を示すことを通して現状の分類の問題点を整理する部分と、整理した問題点を解決する自分の主張 (新たな分類) を示すという2つの部分から構成されていることが分かる。また、補助的な問いは、従前の説の限界を克服するために、生物の分類体系が界という考え方に基づいて精緻化されていく過程と対応しているとも言える。

### (3) Woese et al. (1990) の構成

ここでは、3ドメイン説を提唱した論文として、Woese et al. (1990) 「Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya」を扱う。まず、

対象論文の構成は次のようになっている。

1. Need for Restructuring Systematic
2. Basis for Restructuring
3. Proposal for a New Highest Level Taxon
4. Definitions
5. Conclusion

#### 1. Need for Restructuring Systematic

第1節では、分類体系を再構成する必要がある背景や理由をまとめている。1970年代中頃までは進化の研究対象は後生動物と陸上植物に限定されており、また、分類は複雑な形態と詳細な化石の記録を根拠にしていた為、進化史の一部 (20%程度) を説明することどまっていた。このことによる問題点として、例えば、微生物の進化の歴史は多細胞生物とは異なり、微生物の形態は系統関係を推定するには単純すぎるか解釈できないものであったことを挙げている。そして、現在広く認められている5界説の問題点としては、原核生物界 (モネラ) とその他の4界の差異は、4界同士の差異とは質的に大きく異なるということを描している。言い換えれば、主要な分割が真正細菌と真核生物の間になければならないということである。さらに、古細菌が細胞の構造的には原核生物的 (真核生物の特徴を満たさない) であるのに対して、分子レベルではむしろ真正細菌に (真核生物以上に) 近縁であることを挙げ、現状の分類の問題点としている。また全体として、塩基配列についてのデータが蓄積されるにつれて、既存の分類体系が時代遅れで紛らわしいものだと明らかになったとしている。

#### 2. Basis for Restructuring

第2節では、分類体系を再構成する基盤として分子の配列・構造・関係性を挙げ、特に研究が進んでいるリボソーム RNA によって真正細菌・古細菌・真核生物を区別できる根拠を示している。一方、細胞の特性や生物のふ

るまいといった従来の分類方法は、これらの明らかになった関係を確認の上で用いることが可能であることも挙げている。また、分子情報と化石の記録に基づく系統推定の結果、3つの主要なグループの共通祖先からの分化は惑星の歴史の初期に比較的短い時間スパンの間に起こった可能性が挙げられている。そして、真正細菌と古細菌の分化が、真核生物に先行したという考えも示されている。

### 3. Proposal for a New Highest Level

#### Taxon

第3節では、系統発生のシステムが3つのグループから成ることを確認したうえで、従来の界の上のランクである新しい階層を設定し、これをドメインと呼ぶことを提案している。3つのドメイン（真正細菌、古細菌、真核生物）の下に位置する階層の名称については、古細菌を除いて従来のものを維持し、古細菌についてはクレンアーキオータ界といった新しい分類と名称を提案している。

#### 4. Definitions

第4節では、3つのドメインの定義、ユーリ古細菌界とクレンアーキオータ界の定義を再整理している。

#### 5. Conclusion

第5節では、微生物の進化の過程を考える上で、分類体系の再構築はさけられないものであったとしたうえで、本論文の価値を以下の5点でまとめている。①従来よりも自然な（より進化史を反映した）分類を提供すること、②微生物の完全な分類を可能にする分類体系を提供すること、③進化の過程で植物と動物が特権的に重要な位置を占めているわけではないということを示したこと、④古細菌と真正細菌が系統的に独立していることを示したこと、⑤進化の初期段階の微生物系統の多様性への理解を促進させたこと。

#### (4) Woese et al. (1990) の構造

本節では、構成に従って概観した内容を基

に対象論文における「問い」と対応する「答え（主張）」を整理し、それらの対応関係から対象論文の構造を明らかにする。

はじめに、対象論文における主な問い(MQ)と主な主張(MA)を抽出すると以下のようになる。

MQ：分子情報に基づいた系統を反映した分類体系はどのように表せるか。

MA：リボソームRNAの塩基配列に基づいた分類により、従来よりも広範囲で確からしい進化の関係の説明を示すことができる。

論文の内容を「問い」の観点からさらに分析すると、MQを解決するためにいくつかの補助的な問い(SQ<sub>s</sub>)を設定していることが示唆される。それらを抽出すると、以下のようになる。

SQ<sub>1</sub>：現在の分類の問題はなにか

SQ<sub>1-1</sub>：現在の分類体系はどのような根拠に基づいて構築されているか

SQ<sub>1-2</sub>：細菌類はどのように分類されるか

SQ<sub>2</sub>：分子データから明らかになることはどのようなことか

SQ<sub>2-1</sub>：どの配列に注目すればよいか

SQ<sub>2-2</sub>：生命はどのように分類できるか

SQ<sub>2-3</sub>：進化の関係はどのように説明できるか

SQ<sub>3</sub>：3つのドメインはどのようなものか

SQ<sub>3-1</sub>：古細菌に分類されるのはどのような生物か

SQ<sub>3-2</sub>：各ドメインはどう定義されるか

SQ<sub>3-3</sub>：3つのドメインの価値はどのようなものか

このように、補助的な問い(SQ<sub>s</sub>)は、現状の問題点を挙げる部分、問題提起や自分の主張の基盤となる考えを整理する部分、自分の

主張（新たな分類）を構成する部分，という3つの部分から構成されていることが分かる。また，このような補助的な問いは，現状の説の限界を克服するために，生物を分類する際にリボソーム RNA の塩基配列を利用するという従来とは全く異なる手法を導入することの意義や価値を示していく過程と対応しているとも言える。

#### 4. 対象論文の比較

本章では，前章で整理した対象論文の構成と構造を元に，それらの比較を通して系統分類研究における学問の発展を考察する。またそれらの考察を通して，系統分類研究における研究内容の発展を読み取る読解方法と比較の視点を明らかにする。

##### （1）研究手法

対象論文において用いられた，あるいは深く関係した研究手法について考察する。

系統分類における情報の収集技術は，肉眼による観察から始まり，顕微鏡，電子顕微鏡，近年では生化学的情報や遺伝情報の分析，系統解析の技術が発達するなど，多様化してきた。

Whittaker (1969) は第2節において2界説から4界説までの流れを整理しているが，この部分からは新しい分類が提案される際には情報の収集技術の変化があったことが読み取れる。例えば，3界説が提案された際にはその背景として，顕微鏡の発明とそれに伴う単細胞生物の発見があった。このことが，ヘッケルによる原生物界の提案につながったとホイタッカーは述べている。また，4界説が提案された際にはその背景として，電子顕微鏡の発明とそれに伴って細菌類の細胞構造が他の生物と根本的に異なっていること（核や細胞小器官などの膜構造がない）の発見があった。ホイタッカーはコーブランドの4界説にこのような発見が影響したことにも言及し

ている。同じことは Woese et al. (1990) についても言える。当時はまだゲノムプロジェクトが始まっておらず，PCR 法による特定配列の増幅技術も普及していなかったが，リボソーム RNA はすべての生物に存在し，細胞内に大量に存在するため塩基配列が比較可能であり，研究の蓄積ができていた。このことが，16S リボソーム RNA の比較という Woese et al. (1990) の研究の重要な基盤となった。

このように情報の収集技術が変化するにつれ，研究対象も生物の外部形態，細胞，細胞内構造，分子へと変わり，それにつれて生物の分類体系が変わってきた。対象論文を研究手法の観点から比較することで，研究基盤の変化が分類に与えた影響を捉えることができる。

##### （2）他領域からの影響

対象論文に見られる他領域（系統分類学以外の領域）からの影響を考察する。

Whittaker (1969) では細胞生物学からの影響が随所に見られる。例えば，バクテリアと藍藻類の重大な違いとしてホイタッカーは，細胞壁の構成といった電子顕微鏡や各種光学顕微鏡を用いた形態学的な解析結果を挙げている。このような考え方は明らかに細胞生物学の影響を受けてのものである。しかし，Woese et al. (1990) においては，形態学的解析を主とする細胞生物学的な考え方はむしろ否定的に捉えられている。ウーズらの研究に影響を与えている研究領域としては，分子進化学が挙げられる。分子進化学は1960年代の初期にスタートしたが，始まってまもなく分子進化学者は DNA やタンパク質の比較解析から，生物が過去に辿った進化の道筋を再現できることを知った。このような分子進化学の研究は，分子情報から生物の進化を辿る方法を切り開き，ウーズらの3ドメインの考え方に大きな影響を与えた。例えば，ウーズらは論文の中で，生命が3つのグループに分けられる根拠としてリボソーム RNA の情報を挙



げている。

もちろん、他領域の発展というのも手法の発展があつたことである。例えば、電子顕微鏡による微細構造の研究は微生物分野の理解を大きく広げた。さらにコンピュータの進歩がそれらを利用した分岐分類学を実用化した。このように、手法の変化と他領域の発展は、相互に関連しながら系統分類学に影響を与えていると言える。

### (3) 背景にある流れ

対象論文では直接言及されていないが、その背景にある重要な流れについて考察する。

1つ目の重要な流れは、2界説から5界説まで、あるいはその後の8界説までの流れと、3ドメインやスーパーグループといった分類は研究の方向性が異なるということについてである。前者の研究は、主に、新しい発見によりそれまでの説をさらに細分化・精緻化していくという方法がとられていた。しかし、後者の研究は、細胞内共生の想像以上の広がりにより、界という階級による体系化が困難になったことを受け、より高次の分類群を設定することを目指しているということである。これらの研究の目指す方向性を意識することで、それぞれの研究の持つ目的意識の違いに気付くことができる。

もう1つの重要な流れは、時代が進んでも変わらない研究領域を貫く問題意識についてである。系統分類学が目指しているのは、系統関係に基づいた分類体系を提唱し、そこから進化の道筋を明らかにすることである。この目的からすれば、界をいくつに設定することが妥当かという点はあくまで人間の概念把握の問題であり、界の数よりもむしろ分類体系の構築過程とその確からしさの根拠が重要であることが分かる。

### (4) 後の研究への影響

対象論文の被引用文献を分野ごとに集計し、

対象論文が影響を与えた研究領域を比較することで、系統分類学における研究の発展を読み取る。

トムソン・ロイター社が提供している学術データサービスである「Web of Science」を利用して被引用文献を収集した。具体的には、対象論文の被引用文献を一覧で表示し、結果の分析機能を用いて、被引用文献の研究分野を件数の多い順で整理した。対象論文の被引用文献数は、Whittaker (1969) が 374 本、Woese et al. (1990) が 3,194 本である。それぞれの論文の被引用文献を研究分野ごとに整理し、上位 10 分野をまとめると表 1 の通りになる。この中で大きく順位を伸ばしているのは微生物学、遺伝学である。これは、Woese et al. (1990) が現状の分類体系では微生物が上手く分類できない問題に目を向けたこと、分類手法としてリボソーム RNA に注目したことによる影響だと考えられる。反対に、大きく順位を落としているのは、生命科学、生命臨床医学、進化生物学である。これは、Whittaker (1969) が栄養摂取の様態や細胞に目を向け、共通祖先からどのような歴史をたどってきたかを明らかにしようとしていたのに対して、Woese et al. (1990) はリボソーム RNA に目を向けていることによるものと考えられる。

このように、対象論文が影響を与えた研究領域を比較することで、各論文で論じられている内容の特徴をより客観的に整理し、対象論文の特徴を比較することが可能になる。また、これらの比較を通して、関連する研究分野の視点から系統分類学における研究の発展を読み取ることが可能になる。

表 1 被引用論文分野の推移

5 界説 Whittaker (1969)				3 ドメイン Woese et al. (1990)		
順位	研究分野	被引用論文数	各分野の割合	研究分野	被引用論文数	各分野の割合
1	生化学, 分子生物学	61	17.53%	微生物学	1214	40.12%
2	生命科学, 生体臨床医学	53	15.23%	生化学, 分子生物学	905	29.91%
3	微生物学	45	12.93%	遺伝学	618	20.42%
4	進化生物学	31	8.91%	バイオテクノロジー, 応用微生物学	337	11.14%
5	植物学	27	7.76%	その他の 科学技術	207	6.84%
6	菌類学	25	7.18%	生命科学, 生体臨床医学	148	4.89%
7	遺伝学	23	6.61%	生物物理学	146	4.83%
8	その他の 科学技術	23	6.61%	進化生物学	146	4.83%
9	動物学	23	6.61%	細胞生物学	140	4.63%
10	細胞生物学	21	6.03%	化学	99	3.27%

※1 トムソン・ロイター社が提供する学術データサービス「Web of Science」より筆者作成。

※2 <http://apps.webofknowledge.com/> (2015年12月24日最終閲覧)。

### 5. 教材研究への示唆

本章では、前章までで明らかになった系統分類的研究の発展を読み取る読解をもとに、それらの読解を教材研究へ反映することを検討する。

リンネが2界説を提唱して以来、生物の分類は長い間この2分法に頼っていた。2界説が長く続いた理由は、代わりとなる3界説が分かりにくいのもであったこともあるが、それ以上に、2界説が我々の素朴な自然の捉え方に適合しているということがある。長谷川

ほか(2013)は、子どもが誰に教わらなくても「植物」と「動物」という区別をしていることを指摘している。このことから、直感的な概念化の難易度が、子どもの系統分類の理解度に影響することが考えられる。この観点から考えると、3ドメインは分子配列を基盤とするため、概念化の難易度が高いものとも言える。高等学校生物において系統分類の単元を扱う上では、3ドメインの概念が直感的には理解し難いものであることを踏まえて教材研究を行う必要があると考えられる。

また、系統分類の単元を扱うにあたっては、科学の特質（Nature of Science）を指導する上での教材価値についても考慮するべきである。科学の特質とは、科学論の成果によって明らかにされてきた科学の持つ多様な側面のことである。これまでの理科教育においては、中学生が理解すべき教育内容の一つとして、科学の特質に関する指導を理科カリキュラムへ導入することが議論されてきた（鈴木・大高，2007）。例えば、科学の特質の一つとして、「科学の暫定性」がある。これは、科学的知識や科学的方法は決定的なものではなく、むしろ、暫定的なものであるという特質である（角屋，1991）。このような科学の暫定性は、系統分類学が辿った分類法の変遷によく表れている。言い換えれば、その時代で利用可能な手段から導かれた分類法は、あくまでも暫定的なものにすぎないということである。また、ホイタッカー自身が第6節において自身の5界説の暫定性について言及していることから、科学の特質のひとつである科学の暫定性について理解することの重要性が窺える。

また、先行研究においては、科学の特質の理解は理科学習を促進することも指摘されている。Monk & Osborn (1997) は、科学的な考えの歴史的発達、生徒の科学概念の理解の順序に類似していること、過去の科学的な考えと現在の科学的な考えを比較することによって、現在の科学的な考えに生徒をより注目させることができることを挙げ、科学の特質の理解が生徒の理科学習を促進させることができると述べている。また、Sawyer (2009) は、ある領域の専門家と似た活動に従事することで生徒はより深い知識を学ぶと述べている。

これらのことから、系統分類の単元においては、系統分類の歴史的発達を比較し、科学の特質がどのようなものであるかに焦点を当て、実際の系統分類の活動に従事させることで、より深い理解を実現できるものと考えら

れる。

## 参考・引用文献

- Campbell, N. A. (1987) *Biology*, Benjamin Cummings.
- Copeland, H. F. (1938) The kingdoms of organisms, *Quart. Rev. Biol.*, 1, pp.383-420.
- Haeckel, E. (1866) *Generelle Morphologie der Organismen*, Bd. 2, Verlag von Georg Reimer.
- 袴田綾斗・寺垣内政一・影山和也 (2015) 「数学者による活動分析—数学科教師教育への示唆を目指して—」『学習システム研究』(2), pp.66-73.
- 長谷川正ほか (2013) 「次期中学校学習指導要領（理科）への現代的課題の導入に向けた先駆的研究とこれに対応した大学授業改善」『平成 25 年度広域科学教科教育学研究経費報告書』, pp.63-68.
- 角屋重樹 (1991) 「中学生は科学の暫定性という特質をどのようにとらえているか」『日本教科教育学会誌』15 (1), pp.17-22.
- 加藤礼・武村政春・北原和夫 (2014) 「生物の「分類」に着目した生物学習内容の分析—小学校から高等学校を通して—」『第 96 回全国大会研究発表予稿集』日本生物教育学会。
- Linnaeus, C. (1758) *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*, Tomus I, Holmiæ.
- 文部省 (1999) 『高等学校学習指導要領解説理科編・理数編』大日本図書。
- 文部科学省 (2009) 『高等学校学習指導要領解説理科編・理数編』実教出版。
- Monk, M. & Osborne J. (1997) Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81, pp.405-406.
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. & Jackson, R. B. (2011)

*Campbell Biology*, Benjamin Cummings, 9th Ed.

佐伯英人・谷脇(河村) ゆう子・川上靖(2012) 「中学校理科および高等学校生物の「進化」に関する教材化のための基礎研究ーセトウチフキバッタの地理的分化と寒冷地適応についてー」『理科教育学研究』52(3), pp.67-75。

佐藤崇之・大鹿聖公(2005) 「教科書分析と教材研究から見た高等学校生物における進化の単元に関するー考察」『広島大学大学院教育学研究科紀要』54(2), pp.17-24。

Sawyer, R. K. (2006) Chapter 1: The New Science of Learning. In K. R. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Science*(pp.1-16), Cambridge University Press.

(R. K. ソーヤー「イントロダクションー新しい学習科学」R. K. ソーヤー編(森敏昭, 秋田喜代美監訳)(2009)『学習科学ハンドブック』培風館, pp.1-13。)

島野智之(2010) 「界, ドメイン, そしてスーパーグループー真核生物の高次分類に関する新しい概念ー」『タクサ』(29), pp.31-49。

鈴木宏昭・大高泉(2007) 「日本の中学生における“Nature of Science”の理解に関する研究ー科学知識と探究スキルの性質に関する理解に着目してー」『日本科学教育学会研究会研究報』21(5), pp.117-120。

武村政春(2015) 「高校生物教科書における「真核生物の誕生」に関する内容ならびに「3ドメイン説」との関連付けに関する調査」『生物教育』55(3・4), pp.149-159。

Whittaker, R. H. (1969) New concepts of kingdoms of organisms. *Science*, 163, pp.150-160.

Woese, C. R., Kandler, O. & Wheelis, M.L. (1990) Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87(12), pp.4576-4579.

## 著者

中村 大輝 広島大学大学院教育学研究科博士課程前期

富川 光 広島大学大学院教育学研究科

松浦 拓也 広島大学大学院教育学研究科