

## 生命領域におけるスケール概念に関する研究

A study of the scale conception in the biology field

梶原久嗣

杉野里紗

Hisashi KAJIWARA

Risa SUGINO

福岡教育大学大学院教育学研究科

岡垣町立岡垣東中学校

森藤義孝

甲斐初美

Yoshitaka MORIFUJI

Hatsumi KAI

福岡教育大学理科教育講座

福岡教育大学理科教育講座

(平成30年10月1日受付, 平成30年12月3日受理)

### 抄録

本研究では、「様々なもののスケールを把握し、それをもとにして、他のもののスケールを推定することができるような概念」をスケール概念として定義づけ、これらのスケール概念に含まれる絶対的スケール概念と相対的スケール概念について整理し、小・中・高等学校理科を学んできた者がこれらのスケール概念をどの程度構築できているのかの調査を行うことによって、小・中・高等学校理科の生物領域における学習内容の系統性について検討していった。その結果、小・中・高等学校の理科学習を通じて、生物学におけるスケール概念を自然と獲得していくのは、困難を極めることが明らかとなった。さらに、一部の学習者は、DNAを実体のないものとして捉えている傾向があることも伺えた。また、赤血球は実際より小さく捉えていることや、葉緑体を実際より大きく捉えていることから、どの倍率でどのくらいに見えたかという認識をもつ学習者は多くないと考えられる。したがって、観察・実験を行う際にも、顕微鏡で見た大きさと倍率からどれくらい大きさであるかを求めさせたり、大きさがある程度わかっているものを観察する際にどれくらいの倍率で観察するのが適切かを考えさせたりする活動などを行うことで、絶対的スケール概念の構築を促すことができるのではないかと考えられる。また、様々な理由から観察が不可能なものにおいては、モデルやアナロジーを有効に活用していくことで、そのものの実体やスケール感をつかむことの一助になるのではないかと考えられる。

### 1. 研究の目的

中学校理科における生命領域の学習内容や学習順序は、学習指導要領改訂ごとに大幅な変更がなされている。特に、平成29年改訂の中学校学習指導要領では、平成20年の中学校学習指導要領改訂の際の学習時間・学習内容の大幅な増加に加え、学習順序も大幅に変更されている。この背景

としては、近年の生物学の飛躍的な発展が挙げられる。近年の生物学では、分子生物学の視点から研究が進められており、その影響から、高校生物では生化学の学習内容が中心に据えられ、中学校理科でもDNAの構造などの内容が発展的に取り扱われるようになっている。

一方で、生命領域の学習内容は、系統化されて

いるとは言い難い。例えば、中学校2年生の生物の細胞の学習は、動物に関する学習の前に位置しており、植物に関する学習は1年生で行われるため、植物の学習では、細胞の概念が提示されないままに植物の体を構成する小さな箱のようなものとして細胞が紹介されているに過ぎず、動物の学習では、生命の最小単位としての細胞の概念に基づいて器官や組織が取り扱われているなど、動物と植物の学習で細胞に関する取り扱いが統一されていないという問題がある。これらのことから、教師は、適切なタイミングで適切な情報を学習者に提示することで、学習者が必然性をもって概念を適切に整理、または構築できるように促していくことが求められる。そこで、生命領域の学習内容の分析を行ったところ、特に生物の体のつくりの内容では、空間的にマイクロからマクロまで様々なスケールを扱っており、また、その扱い方も小・中学校で段階的に多様化していることがわかった。

これらのことを踏まえ、本研究では、学習者の生物におけるスケール概念の実態や、どのような情報を提示することで、学習者の生物におけるスケール概念の整理、または、構築を促すことができるのかを検討していく。

## 2. 生命領域におけるスケール概念

本研究では、「様々なもののスケールを把握し、それをもとにして、他のもののスケールを推定することができるような概念」をスケール概念として定義づける。このスケール概念には、絶対的スケール概念と相対的スケール概念の2つがあると考えられる。まず、絶対的スケール概念には、1 mm や 1  $\mu\text{m}$  のような単独のスケールに基づき、対象の長さを言い当てるための下位概念が含まれている。この絶対的スケール概念を保持している者は、1 mm や 1 m などの大きさの指標となる概念を用いて道のりの長さや対象の大きさなどを算出することができる。次に、相対的スケール概念には、複数の対象を比較することで大きさを順番に並べるための下位概念が含まれる。この相対的スケール概念を保持している者は、細胞小器官は細胞の構成物であるため、葉緑体よりも赤血球の方が大きいというような大きさの順序性を見いだすことができる。

図1は、多細胞生物に関して、生物学における階層性を相対的スケール概念に基づいて整理したものである。図1からわかるように、生命領域の学習においてはマイクロの分子レベルからマクロの生態系レベルに至るまで様々なスケールで語られ



図1 多細胞生物の生物学におけるスケール

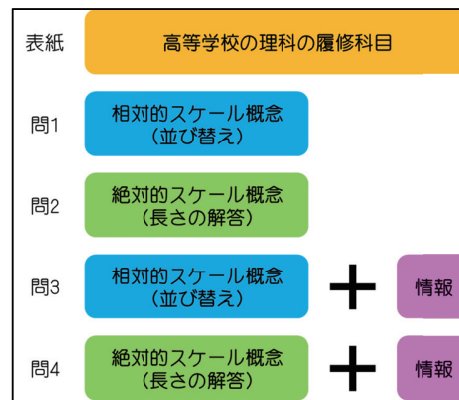


図2 調査の概要

ていることがわかる。これらのスケール概念は、生命領域の学習には必要不可欠であるが、学習者がどのようなスケール概念を構築しているのかについては明らかになっていない。そこで、スケール概念の構築に関する調査を行うことにした。

## 3. 調査1

### (1) 調査の目的及び概要

平成10年改訂学習指導要領に基づく中学校理科を履修した者が、どの程度、生物におけるスケール概念を構築しているのかについて明らかにすることを目的とする。その際、高等学校で履修した理科の科目がどのような影響を与えているのかについても分析を行う。次に、スケール概念を構築するにあたり、どのような情報を提示することが有効かについても明らかにする。

調査は、2015年10月下旬に、教員養成系大学に所属する119名を対象とした。この119名中、高等学校理科の履修科目として、生物I・化学I履修者(加えて物理や地学を履修している者も含む)は45名、生物I履修者(加えて物理や地学を履修している者も含む)が41名、化学I履修者(加えて物理や地学を履修している者も含む)が31名、その他の履修者が2名であった。調査問題は、質問紙調査形式を用い、各問を各3分で解答させた。調査問題の概要を図2で示す。問1では、相対的スケール概念について問うため、図3に示したゾウリムシ、赤血球、葉緑体、DNA、水分子の5つを大きい順に並べさせた。なお、この5つについては中学校理科の内容ですべて学習

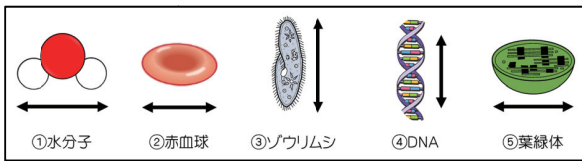


図3 調査に用いた5つ

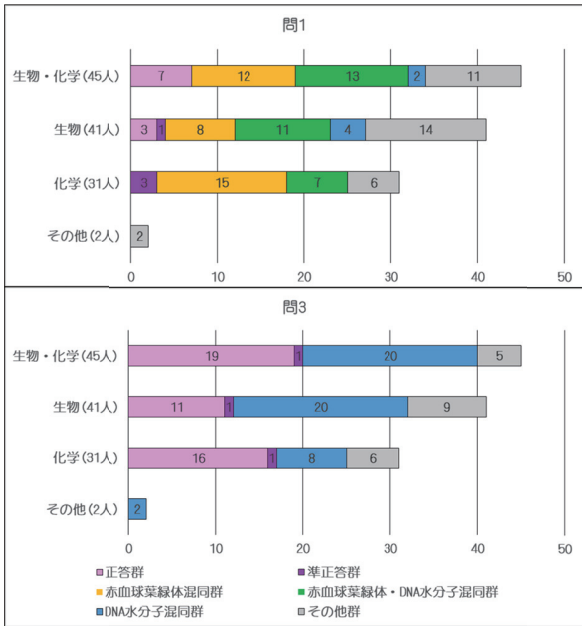


図4 相対的スケール概念の調査結果

する。問2では、絶対的スケール概念について問うため、問1と同じ5つの長さについて単位をつけて答えさせた。その際、1 m の1000分の1が1 mm、1 mm の1000分の1が1 μm、1 μm の1000分の1が1 nm、1 nm の1000分の1が1 pmであることを予め示しておいた。問3では、問1の問題に「葉緑体の大きさは3番目である」という情報を加え、大きい順に並べさせた。問4では、問2の問題に「肉眼で見ることのできる最小の長さは0.2 mmである」という情報を付け加え、長さについて単位をつけて答えさせた。また、各問すべてに、そのように答えた理由を記載させる欄を設けた。また、問3と問4で提示した情報の意図としては、まず、問3では、図1のような生物の階層性を意識できている解答者であれば、葉緑体の順位から他の4つの順位を正しく導くことができると考えたからである。次に、問4では、ゾウリムシを肉眼で見たことがあるという経験からゾウリムシの大きさを想定でき、顕微鏡観察の経験や原子の大きさから他の4つを概算できると考えたからである。

(2) 調査の結果及び考察

1) 相対的スケール概念に関する結果及び考察

図4は相対的スケール概念を問う問題である問1と問3の結果について、解答の規則性から正答群、準正答群、赤血球葉緑体混同群、DNA水分子混同群、赤血球葉緑体・DNA水分子混同群、その他という6つに色を分けて整理したものである。1つ目の正答群は、図3に示した5つを大きい方から順に、ゾウリムシ、赤血球、葉緑体、DNA、水分子と正しい順番に答えることができたグループである。2つ目の準正答群は、5つを大きい方から順に並べることはできたが、赤血球と葉緑体が同じ大きさであると示したグループである。3つ目の赤血球葉緑体混同群は、赤血球と葉緑体のみを逆に示したグループである。4つ目のDNA水分子混同群は、DNAと水分子のみを逆に示したグループである。5つ目の赤血球葉緑体・DNA水分子混同群は、赤血球と葉緑体、DNAと水分子それぞれを逆に示したグループである。6つ目のその他群は、前出の5つのグループのどれにもあてはまらない解答をしたグループである。また、図4の縦軸は高等学校理科で履修した科目を示し、横軸の数字とグラフ内の数字は、人数を示す。

まず、情報を与えなかった問1の正答者が119名中10名と、全体の9%であるということから、被験者のほとんどは、生物学におけるスケール概念の構築が望ましい結果ではないことがわかる。このことから、中・高等学校の理科学習を経ても生物におけるスケール概念を構築するには至らないことが推測される。また、全体を通して、赤血球と葉緑体の大小関係とDNAと水分子の大小関係についての誤答が多かったこともわかる。赤血球と葉緑体の混同の理由としては、顕微鏡で観察する際に、赤血球や葉緑体のことは、100倍程度の倍率でしか観察していないため丸い小さい粒としてしか認識していないこと、実際の長さ自体もほとんど変わらないことが挙げられる。DNAと水分子の混同の理由としては、DNAは生物に関する情報であるという認識が強く、実体がないものとして捉えられていること、一方で、水分子のモデルの教科書などでの記載では、大きさをもつ実体のあるものとして表現されているため、比較的大きいイメージを持っていることが挙げられる。

次に、高等学校で履修した科目ごとに比較すると、生物と化学の両方を学習しているグループの正答群の割合が最も高いことが分かる。また、赤

血球葉緑体混同群の割合が最も低いのは、生物のみ選択しているグループであることが分かる。さらに、DNA 水分子混同群の割合が最も低いのは、化学のみ選択しているグループであることが分かる。これらのことから、赤血球と葉緑体の大きさの差を理解するには、生物で取り扱われる細胞の成り立ちの学習が効果的であり、DNA と水分子の大きさの差を理解するには、化学で取り扱われる分子と高分子の学習が効果的ではないかと考えられる。しかし、高等学校理科では直接的にスケール概念を取り扱わないため、学習者自身が意識をしなければ、スケール概念の構築は困難であると考えられる。

最後に、「葉緑体の大きさは3番目である」という情報を示すことの効果については、問3で赤血球葉緑体混同群と赤血球葉緑体・DNA 水分子混同群がいなくなっていることから、赤血球と葉緑体の大きさの混同を正す上では効果があったと考えられる。しかし、上述する情報から、図1に示すような生物学におけるスケールを意識することはなく、それ以外の混同に対しては、ほとんど効果がなかったと考えられる。

2) 絶対的スケール概念に関する結果及び考察

図5は、絶対的スケール概念を問う問題で、「肉眼で見ることのできる最小の長さは0.2 mm である」という情報を与えなかった問2と情報を与えた問4の結果について、1 mm ~ 1 pm 程度の指標を示した上で、図3に示す5つの長さの解答の結果を表したものである。全体の人数に対する割合を縦軸にし、1 m ~ 0.01 pm の範囲を1桁ごとに mm 単位で刻んだものを横軸にしている。

この問題の正答は、ゾウリムシが0.2 mm, 赤血球が7.5 μm, 葉緑体が5 μm, DNA が3.4 nm, 水分子が380 pm である。各正答率は、問2では、ゾウリムシ41%, 赤血球33%, 葉緑体24%, DNA17%, 水分子14%であり、問4では、ゾウリムシ60%, 赤血球28%, 葉緑体25%, DNA16%, 水分子13%である。この問題では正確な長さを答えられるかを聞いているのではなく、あくまでもどの程度の大きさであるかの認識を明らかにするために実施したものである。したがって、10の累乗の単位があてれば正答として捉えている。

まず、情報を与えなかった問2と情報を与えた問4のいずれも、図4に示した5つの長さすべてを正しく答えることができた者は0名であったことから、生物学におけるミクロレベルの絶対的スケール概念の構築に関しては、高等学校理科の履

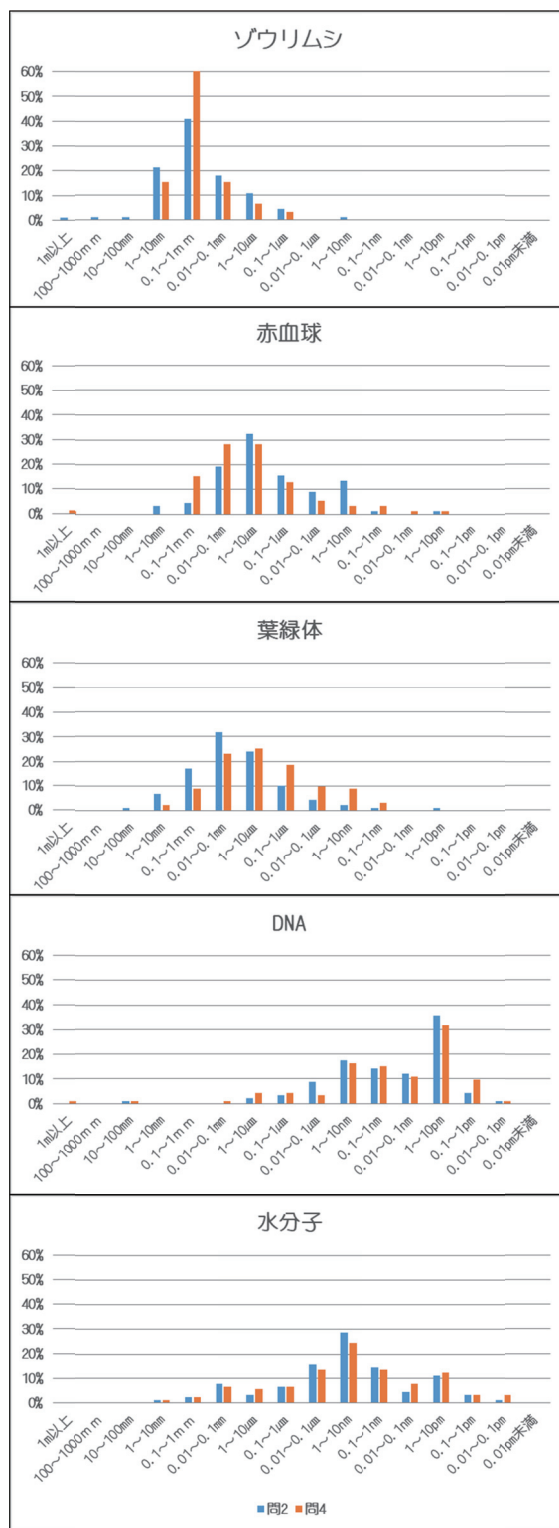


図5 絶対的スケール概念の調査結果

修科目による差はなく、ほとんど全員が構築できていないといえる。また、そのように答えた理由を書く欄で、明確な理由を述べられた者はほとんどおらず、被験者の多くが、中・高等学校の理科の学習において、顕微鏡観察や教科書に記載され

ている図や写真を見る際に、実際にはどのくらいの大きさであるかというような絶対的スケール概念を意識することなく、学習を終えてしまっていると考えられる。

一方、「肉眼で見ることのできる最小の長さは0.2 mmである」という情報を示すことの効果については、ゾウリムシと赤血球、葉緑体のような顕微鏡で見ることができるときの範囲の長さに関して、情報を与えた問2から情報を与えた問4で解答を変動させている者が多いことから、大きさの概算の手立てとして有効であったといえる。このことは、図5に示すように、ゾウリムシや赤血球、葉緑体の大きさが情報を与えた問4で適正値に近づいていることから裏付けられる。一方で、DNAと水分子のような顕微鏡でも見ることのできない範囲の長さに関しては、問2と問4で解答を変動させている者が少ないことから、大きさの概算の手立てにすらならなかったと考えられる。また、ゾウリムシから水分子へと小さくなるにつれて正答率が下がっていることから、小さいものほど、実感がないため、絶対的スケール概念は構築しにくいということが考えられる。

#### 4. 調査2

##### (1) 調査の目的

調査1の結果から、絶対的スケール概念の構築には、「肉眼で見ることのできる最小の長さは0.2 mmである。」というような、学習者の観察経験にもとづく情報の有用性が示されたことから、本調査では、顕微鏡での観察経験にもとづく情報を提示することの有効性を明らかにする。また、それに加え、相対的スケール概念の構築に向けては、「生物の個体は器官があつまってできており、器官は組織があつまってできている。」のような生物の階層性を示唆するような情報を提示することの有効性を明らかにしていきたい。さらに、前回の調査対象は、平成10年改訂の学習指導要領における中学校理科を履修した者であり、今回の調査対象は、平成20年改訂の学習指導要領における中学校理科を履修した者であることから、まずは、学習指導要領改訂前後でスケール概念の構築にどのような違いが生じるかについても比較したい。

##### (2) 調査の概要

調査は、2017年10月中旬に教員養成系大学に所属する92名を対象とした。なお、この92名は高等学校段階で化学基礎と生物基礎の両方を履修している。調査問題は、質問紙調査形式を用い、各問を各3分で解答させた。調査問題の概要は、

図1で示したものと同様である。問1では、相対的スケール概念について問うため、図3に示したゾウリムシ、赤血球、葉緑体、DNA、水分子の5つを大きい順に並べさせた。問2では、絶対的スケール概念について問うため、問1と同じ5つの長さについて単位をつけて答えさせた。問3では、問1の問題に「一般的に、生物の体は、いくつかの器官があつまって形成され、その器官はいくつかの組織があつまって形成され、その組織は同じような細胞がたくさんあつまって形成されている。」という情報を付け加え、大きい順に並べさせた。問4では、問2の問題に「肉眼で確認できる最小の長さは0.1 mmである。また、光学顕微鏡の400倍の倍率で確認できる最小の長さは0.5  $\mu\text{m}$ である。」という情報を付け加え、長さについて単位をつけて答えさせた。また、各問すべてに、そのように答えた理由を記載させる欄を設けた。ここでは、調査1と違い、肉眼で確認できる最小の長さは0.2 mmではなく0.1 mmとしているが、この点については諸説があり、どちらが正しいとは言えないため、問題作成の際に参考とした資料に合わせて0.1 mmにしている。

前回の調査との変更点である問3と問4の情報の意図としては、まず、問3で追加した一文は、平成24年発行の大日本図書の中学校理科の教科書に記載されている一文(有馬ら、2012)を一部変更したものであり、平成20年改訂学習指導要領にもとづいて学習している学生の大多数にとっては周知の情報であるため、正しい相対的スケール概念の解答に期待ができると考えたためである。また、図1のような生物の階層性について直接的に示しているため、それらを反映させた上での解答が期待できると考えたためである。次に、問4で追加した一文は、前回の調査で、観察経験にもとづく情報を提示することが有効であったことから、今回は顕微鏡で観察できる長さについても示すことで、赤血球や葉緑体をより適正値に近づけることができ、また、顕微鏡でもみえないDNAや水分子についても長さを想像する情報になると考えたためである。

##### (3) 調査の結果及び考察

###### 1) 相対的スケール概念に関する結果及び考察

問1と問3の正答は大きい方から順番に、ゾウリムシ、赤血球、葉緑体、DNA、水分子となる。まず、問1で正しく解答できた人数は、92名中6名で、問3で正しく解答できた人数は、92名中3名であることから、相対的スケール概念は十分に構築されていないことが考えられる。また、問3

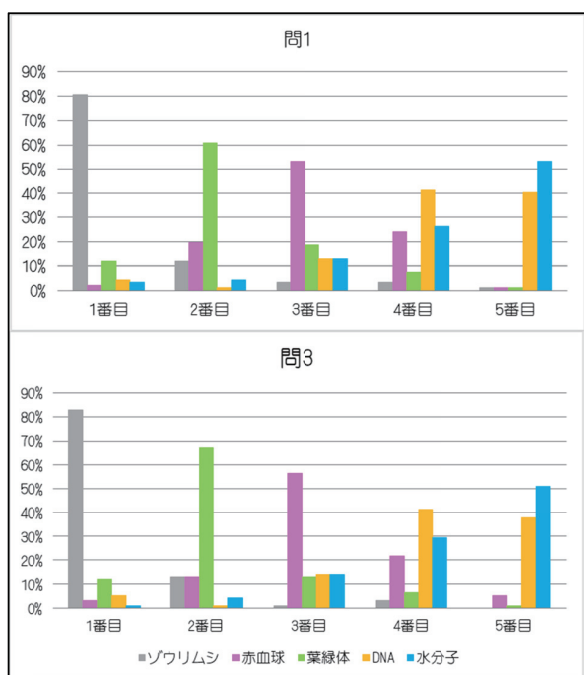


図6 相対的スケール概念の調査結果

では、問1よりも正答者が減少したことから、そもそも問1での正答者が必ずしも生物学における階層性に関する適切な概念を用いて解答したわけではないことが考えられる。

次に、図6は、問1と問3の解答結果をもとに、5つの選択肢それぞれをどの順番に位置づけたかの人数を百分率によって示したグラフである。図6について見ていくと、特徴的なのは、赤血球と葉緑体である。赤血球は細胞であり、全体の中で2番目の大きさであるにもかかわらず、3番目に位置づけている解答者が半数以上いることがわかる。また、葉緑体は細胞小器官であり、全体の中で、3番目の大きさであるが、2番目に大きいと考えている解答者が半数以上いることがわかる。これらのことから、赤血球については、全体的に実際の大きさよりも小さく捉えており、葉緑体については、全体的に実際の大きさよりも大きく捉えていることがわかる。この理由として、赤血球に対して細胞であるという認識をあまり保持していないことや、葉緑体は観察経験がある一方で、赤血球はあまり観察経験がないことなどが考えられる。

次に、DNAについて見ていくと、DNAは4番目が正答であるが、4番目とほぼ同じ割合で5番目、つまり最小として捉えている解答者が多いことがわかる。このことについては、調査1と同様、DNAについて、生物の情報のようなもので実体のないものであると捉えている傾向が見ら

れ、理由にもそのような解答が記述されていた。

最後に、「一般的に、生物の体は、いくつかの器官があつまって形成され、その器官はいくつかの組織があつまって形成され、その組織は同じような細胞がたくさんあつまって形成されている。」という情報を示すことの効果については、解答の傾向がほとんど変わらなかったことから、生物学のスケールを想起させることに効果がなかったと考えられる。そもそも、赤血球は細胞、葉緑体は細胞小器官のように、何がどのレベルに当てはまるのが分かっていなければ、生物学のスケールを想起できていたとしても活用できない。

## 2) 絶対的スケール概念に関する結果及び考察

図7は、絶対的スケール概念を問う問題で、「肉眼で確認できる最小の長さは0.1 mmである。また、光学顕微鏡の400倍の倍率で確認できる最小の長さは0.5 μmである。」という情報を与えなかった問2と与えた問4の結果について、1 pmから1 mの指標を示したうえで、図2に示した5つの長さの解答結果を示したものである。全体の人数に対する割合を縦軸にし、1 mから0.01 pmの範囲を1桁ごとに区切ったものを横軸にしている。

この問題の正答は、ゾウリムシが0.2 mm、赤血球が7.5 μm、葉緑体が5 μm、DNAが3.4 nm、水分子が380 pmである。各正答率は、問2では、ゾウリムシ27%、赤血球41%、葉緑体43%、DNA36%、水分子5%であり、問4では、ゾウリムシ51%、赤血球45%、葉緑体50%、DNA32%、水分子3%である。この問題では正確な長さを答えられるかを聞いているのではなく、あくまでもどの程度の大きさであるかの認識を明らかにするために実施したものである。したがって、10の累乗の単位があてれば正答として捉えている。

結果について見ていくと、まず、ゾウリムシ、赤血球、葉緑体では、問2と比べて問4の正答率が上がっていることから、一定の効果のある情報であったことが考えられる。特に、ゾウリムシでは、正答率が大きく増加したことから、肉眼で見えるという観察経験の印象の強さが伺える。また、相対的スケール概念を問う問題でも見られた通り、赤血球は実際よりも小さく、葉緑体については実際よりも大きく捉えている傾向が見られる。次に、DNAと水分子は、問2と問4での解答の変化があまりなかったことから、DNAと水分子の大きさを求めるうえで有効な情報にならなかったことがわかる。特に、水分子について

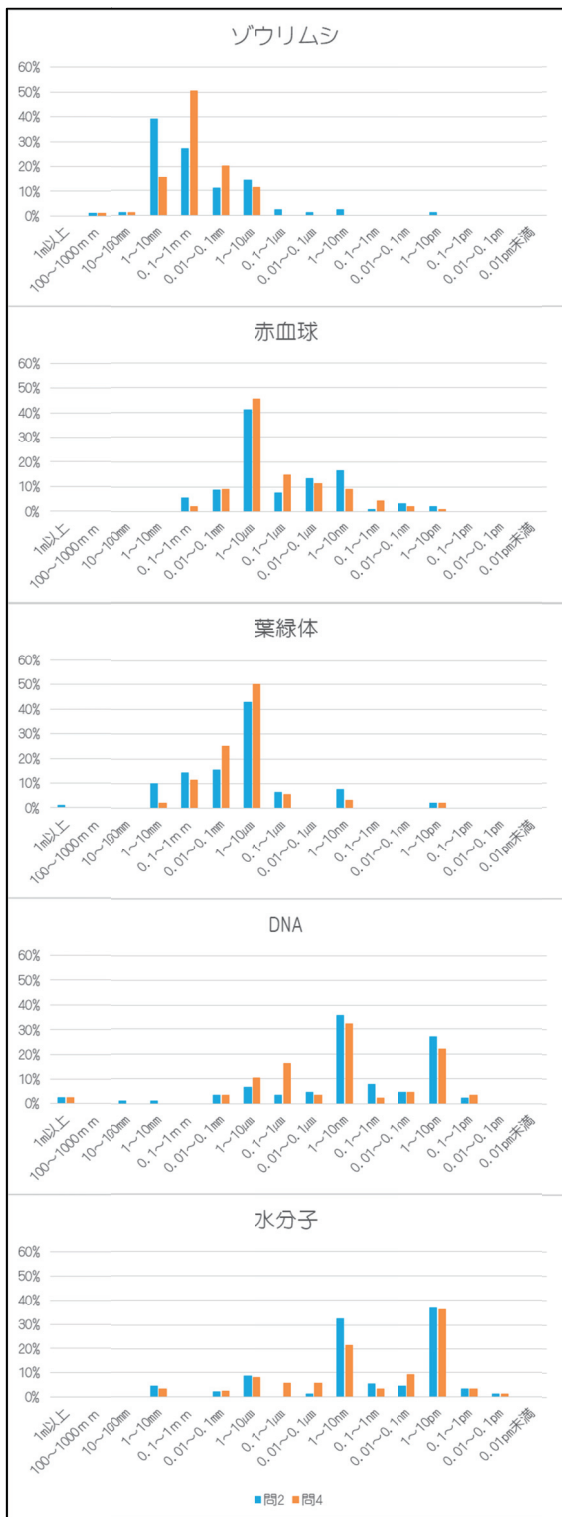


図7 絶対的スケール概念の調査結果

は、正答がほとんど出なかったことから、大きさについてのイメージを持っていないことがわかる。また、前回の調査と比較すると、今回の調査では、DNAについて、問4で1 m 以上から0.01 μm の範囲で解答する割合が高くなってい

た。つまり、顕微鏡を用いれば見る事ができる程度の大きさだと捉えていることが考えられる。この理由としては、新課程でDNAを扱うようになり、DNAの抽出実験などが教科書に記載されるようになったことが考えられる。

#### 4. まとめと今後の課題

これらの調査結果から、小・中・高等学校の理科を通じて、生物学におけるスケール概念を自然に獲得していくのは困難を極めることが明らかとなった。しかし、生物学におけるスケール概念を構築できていなければ、細胞膜と水分子やイオンの大きさの関係やDNAの塩基の結合が分子の結合とどのように関係しているかなどの理解につながらないと考えられる。特に、高等学校生物では、タンパク質やDNAなどの高分子レベルでの学習が多いが、スケール概念が構築されていなければ、これらの実体を捉えられず、高等学校終了後にも誤った認識を持ち続ける可能性も危惧される。したがって早期にスケール概念を構築させるために、高等学校のみで取り扱われている、生物学におけるスケールの階層性に関する学習を中学校段階から取り入れていき、各階層の指標となる大きさをイメージできるようにすることが望ましいと考えられる。しかし、生物は同じ種であっても個体差があったり、個体自身も成長したりするため、大きさについてはある程度の範囲でしか示すことができない。つまり、絶対的スケールを示しにくいということである。そのため、生命領域では相対的スケールに重きが置かれているが、相対的スケールの指標となる階層性も個体によって当てはまる大きさの範囲が変わってしまう。このような状況で、スケール概念を構築するにあたって以下の2点が有効ではないかと考える。

まず、1点目は、大きさを概算する手だてを認識させるということである。そのために、観察の倍率について生徒に認識させることが必要であると考えられる。調査1と調査2の結果から、観察経験に基づく情報が絶対的スケールの構築に効果があることが明らかとなった。しかし、赤血球は実際より小さく捉えていることや、葉緑体を実際より大きく捉えていることから、どの倍率でどのくらいに見えたかという認識をもつ学習者は多くないと考えられる。したがって、観察・実験を行う際にも、顕微鏡で見えた大きさと倍率からどれくらいの大きさであるかを求めさせたり、大きさがある程度わかっているものを観察する際にどれくらいの倍率で観察するのが適切かを考えさせたりする活動などを行うことで、絶対的スケール概念の

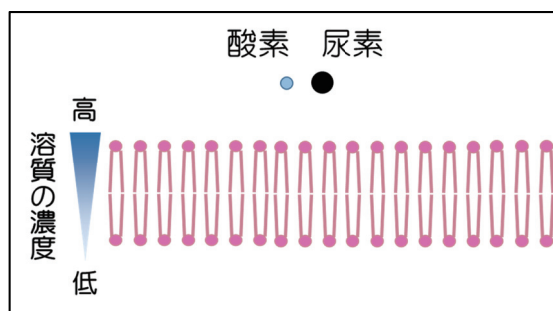


図8 細胞膜での単純拡散のモデル

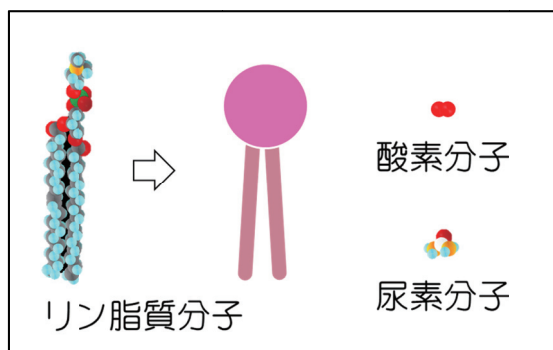


図9 リン脂質分子と水素イオンのモデル

構築を促すことができるのではないかと考えられる。

2点目は、モデルやアナロジーの活用である。上述した通り、観察経験はスケール概念構築に効果があると考えられるが、生物の学習では、解剖のような倫理的な問題から観察できないものや、生態系のように空間的なスケールが大きすぎるために観察できないもの、DNAや水分子のようにスケールが小さすぎて観察できないものなど様々な理由から、観察するということが制限されてしまう。調査1と調査2の結果が示すように、一部の学習者は、DNAが実体のないものとして捉えている傾向があることが伺え、それらは実際に見ることができないことが理由として考えられる。このような状況を改善していく手だてとして、生命領域の学習では、モデルやアナロジーが重要になると考えられる。モデルとは、人間の感覚ではとらえられない事物や現象、抽象的な理論や法則などを理解しやすくするために具体的な事物や図・記号等で表現したもの(蛭谷・木村, 1981)であり、アナロジーとは、異なった概念の間に類似性を見いだす過程(グリーン, 1993)である。例えば、酵素の基質特異性を鍵と鍵穴の関係に喩えて説明したり、腸の表面積の大きさをテニスコート1面分の広さと表して説明したりするこ

とであり、そのわかりやすさから、生物の事物・現象の説明においてよく用いられる。しかし、このモデルやアナロジーは万能ではなく、必ずどこかに破綻が生じてしまう。例えば、図8に示すような細胞膜での酸素分子や尿素分子の移動を図で表すときに、酸素分子や尿素分子を誇張して表現するためにリン脂質分子と比べて大きく表現されている。リン脂質分子の構造をふまえて表現するならば、図9のようなサイズ比になる。このように、モデルで表現できているのはある側面だけであり、すべてを表現できていないことを考慮して使用することが重要となると考える。また、基本的に、モデルは、概念の内包を具現化したものであり、どうしても抽象的なものになってしまうため、モデル化していく過程を示し、段階的に抽象化することで実体を捉えさせるような工夫などが今後必要になってくると考えられる。

#### 参考文献

- 太田次郎ら：『高等学校 生物 I A』, 新興出版社啓林館, 1993.  
 太田次郎ら：『高等学校 生物 I B』, 新興出版社啓林館, 1994.  
 太田次郎ら：『高等学校 生物 II』, 新興出版社啓林館, 1994.  
 太田次郎ら：『高等学校 生物 I』, 新興出版社啓林館, 2002.  
 太田次郎ら：『高等学校 生物 II』, 新興出版社啓林館, 2002.  
 太田次郎ら：『新編 生物基礎』, 新興出版社啓林館, 2011.  
 太田次郎ら：『生物』, 新興出版社啓林館, 2012.  
 岡田要ら：『新訂版 中学校 理科 1年』, 大日本図書, 1969.  
 岡田要ら：『新訂版 中学校 理科 2年』, 大日本図書, 1969.  
 岡田要ら：『新訂版 中学校 理科 3年』, 大日本図書, 1969.  
 坪井忠二ら：『改訂 中学校 新理科 2分野 1』, 大日本図書, 1975.  
 坪井忠二ら：『改訂 中学校 新理科 2分野 2』, 大日本図書, 1975.  
 坪井忠二ら：『中学校 理科 2分野上』, 大日本図書, 1980.  
 坪井忠二ら：『中学校 理科 2分野下』, 大日本図書, 1980.  
 戸田盛和ら：『新版 中学校理科 2分野上』, 大日本図書, 1996.



- 戸田盛和ら：『新版 中学校理科 2分野下』, 大日本図書, 1996.
- 戸田盛和ら：『新版 中学校理科 2分野上』, 大日本図書, 2006.
- 戸田盛和ら：『新版 中学校理科 2分野下』, 大日本図書, 2006.
- 有馬朗人ら：『新版 理科の世界 1』, 大日本図書, 2016.
- 有馬朗人ら：『新版 理科の世界 2』, 大日本図書, 2016.
- 有馬朗人ら：『新版 理科の世界 3』, 大日本図書, 2016.

#### 引用文献

- 有馬朗人ら：『理科の世界 2年』, 大日本図書株式会社, p.88, 2012.
- 蛸谷米司, 木村仁泰 (1981)：『教科教育の基礎用語シリーズ 理科重要用語 300 の基礎知識』, 明治図書出版株式会社, p.179.
- S.M. グリン (1993)：「科学概念の説明：アナロジーによる教授モデル」, 『理科学習の心理学 子どもの見方と考え方をどう変容させるか (S.M. グリン, R.H. イェーニイ, B.K. プリットン (武村重和監訳))』, 東洋館出版社, p.245.

