

# 電子顕微鏡を用いた 粒子概念の定着を促す学習教材の開発

伊藤 崇由

電子顕微鏡は、光学顕微鏡とは異なる見方で表面の微細な構造を観察することができる。この利点を生かし、今春導入された卓上型電子顕微鏡で撮影した画像を用いて、同じように見える物質でも粒子レベルでの違いが物質全体での見た目や物性等の違いに繋がることを理解させる教材の作製を、筆記具やゴムボールなどの身近な物質を題材に行った結果について報告する。

[キーワード] 電子顕微鏡      MOBILESEM      粒子概念      移動理科教室      サイエンスカー

## はじめに

電子顕微鏡は、以前より「光学顕微鏡よりさらに微細な構造を観察することができる」ことについて机上での学習は行われていた<sup>\*1)</sup>が、1台数千万円という購入費や、維持管理に要する多額の費用がネックとなり、教育現場への導入や観察・実験への活用はほとんど行われてこなかった。

しかし、近年は企業の研究開発や病院の病理検査等で日常的に使われるようになり、更には走査型トンネル電子顕微鏡の登場により、今や物質を分子レベルで観察できるようになった<sup>\*2)</sup>。後述するように、教科書において電子顕微鏡写真が掲載されるようになった。また、技術革新が進み、購入費や維持費の負担が少ない卓上型電子顕微鏡が開発され、教育現場でも少しずつ利用されるようになってきた。

北海道においても、今年度のサイエンスカー更新に伴い、搭載機器の1つとしてMOBILESEM（新日本電工（株）製）が導入された（図1）。本来は、移動理科教室等の移動先で電子顕微鏡を即座に稼働し、実際の映像を見せるべきであるが、起動に一定の時間がかかることや、すぐに見せられる状態での移動は故障の可能性が一気に高まることなどから、事前に見せたい物質

の画像データを用意し、パソコンと液晶モニターで映示することにした。また、電子顕微鏡を末永く、またさまざまな場面で有効に活用するための研究もスタートさせた。

本稿では、MOBILESEMの概要、画像コンテンツの開発と移動理科教室での活用、末永く有効に活用するための、児童が触れるモックアップ（実物大模型）の導入、画像データの配布に向けた準備等、導入初年度の取組を紹介する。



図1 MOBILESEM（透明ケース内部）

## 1 卓上型電子顕微鏡“MOBILESEM”について

新日本電工（株）で開発されたMOBILESEMは、顕微鏡本体が500mLペットボトルと同程度の大きさで、ダイヤフラムポンプ等を含め全体でも生徒用機の半分ほどのサイズしかなく、重さも土台込みで約14kgと持ち運び可能な、小型・軽量の走査型電子顕微鏡である。また、非電導性物質を測定する際はイオン液体を塗布すれば良く、通常の電子顕微鏡で用いられる金や炭素の蒸着装置が不要であるなど、関連機器や付属品の維持管理や購入にかかるコストがわずかで済む。さらに、操作の順番を誤ったり電源を急に遮断しても壊れないなど、学校現場での活用を意識したつくりになっている。

MOBILESEMの到達分解能は $1.7\mu\text{m}$ で、多くの高校に導入されている1000倍の光学顕微鏡よりやや細かい物質が見える程度の能力にとどまるため、例えば花粉のような微細な物質を詳細に観察することはできない。しかし、安価でサイエンスカーの可動式実験台にも搭載可能なサイズでありながら、手軽に電子顕微鏡の世界を体験できる点は非常に魅力的であり、今春のサイエンスカー更新に合わせて当センターに導入されることとなった。

## 2 画像コンテンツの作製

ここ数年の移動理科教室において、サイエンスカーの公開時間は1班あたり15～30分程度である。MOBILESEMは通電からわずか5分程度で測定可能であるが、静電気発生装置や超電導物質の演示等他のメニューも実施することを考えると、公開時間の中で実際の測定を行うことは非現実的である。そこで、事前に撮影した画像をパソコンを介して液晶モニターに流すことにした。今年度はサイエンスカーの導入直後に移動理科教室が始まったため、星の砂とシャープペンシル芯の映示のみとなったが、次年度に向けて画像コンテンツの充実に向けた検討を後述のように行った。題材は、2016年1月に筆者が掛川市の静岡県総合教育センターを訪問し、担当

の飯田寛志指導主事より、同センターで実施している電子顕微鏡に関する教員研修の内容を紹介いただいたり、同センターにある大型の電子顕微鏡で測定を行ったりした成果をヒントに選定した。

### (1) 教科書への電子顕微鏡写真掲載内容

まず、現行の教科書に電子顕微鏡写真がどの程度使われているか、調査を行った。

小学校用教科書では掲載は確認できなかったが、中学校用教科書では全社でヒトの血液または血球の写真が掲載されていたほか、ほとんどの会社でヒトの柔毛、金または銀の原子、ヒトの卵と精子、菌類の写真が掲載されていた。高校化学基礎用教科書では、ほとんどの会社でケイ素原子の写真が掲載されていた。

また、生徒が理解しやすいよう、修整し色をつけた写真が教科書に数多く使われていた。その多くに色付けした旨の記載はあったが、電子顕微鏡の原理の関係で原画像はモノクロとなる旨の記載は1社もなく、原画像を知らなかったり、誤って理解する生徒が数多くいる可能性が示唆される結果となった。調査の結果、電子顕微鏡の原理を写真から理解できるような教材を作製すれば、移動理科教室に参加する児童だけでなく、中・高校生の授業に活用した場合に正しい理解を促すことができる可能性を見出すことができた。

### (2) シャープペンシル芯の濃さの違い

筆者は、シャープペンシル芯の濃さの違いが黒鉛の含有率の違いに関係するのではないかと考え、MOBILESEMによる観察を行った。

ネオックス・グラフアイト0.5mm（パイロット）の4Bと3Hを用意し観察したところ、4B芯の断面（図2上）には導電性部分を示す白い部分が多く、3H芯の断面（図2下）には非電導性部分を示す黒い部分が多い画像データが得られた。ただ、濃淡は画像処理でも生じる要素であるため、この結果だけで芯の濃さを画像データで判断できるとすることは難しいと考えている。

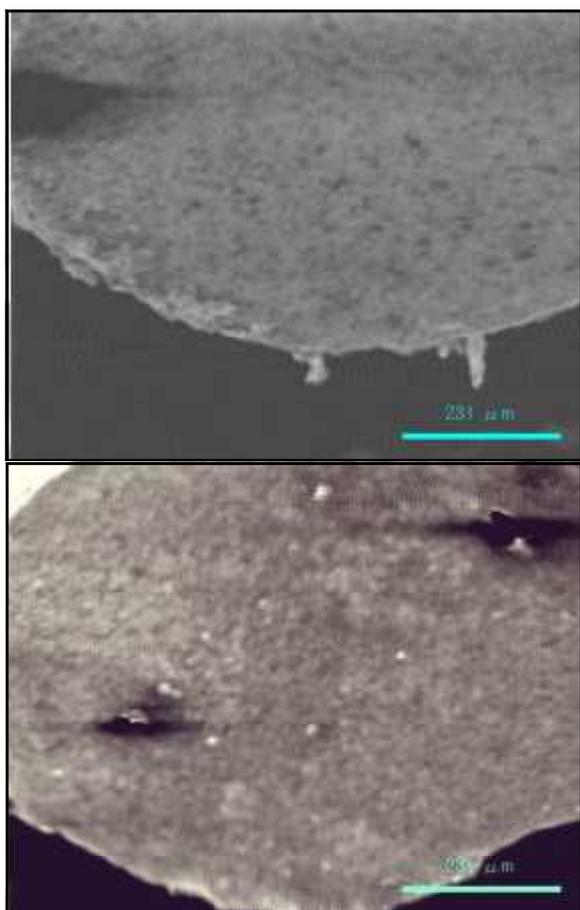


図2 シャープペンシル芯の断面  
(上：4B芯，下：3H芯)

また、現在使われるシャープペンシル芯の多くは、書き味を重視した芯部分と、折れにくさを重視した表面の2層構造となっているが、今回観察した芯においても2層の境界面を観察することができた。

### (3) ボールペンのインクと「こすると消えるボールペン」のインクの違い

筆者は、フリクションボールペン黒0.7mm（パイロット）と顔料ゲルインクボールペン Juice黒0.7mm（パイロット），および鉛筆 9800 H（三菱鉛筆）の3種の筆記具でNo. 2ろ紙にそれぞれ線を描いたものをMOBILESEMで観察した。

すると、ゲルインクボールペン（図3上）と鉛筆で描いたろ紙には白い線を観察することができたが、こすると消えるボールペン（図3

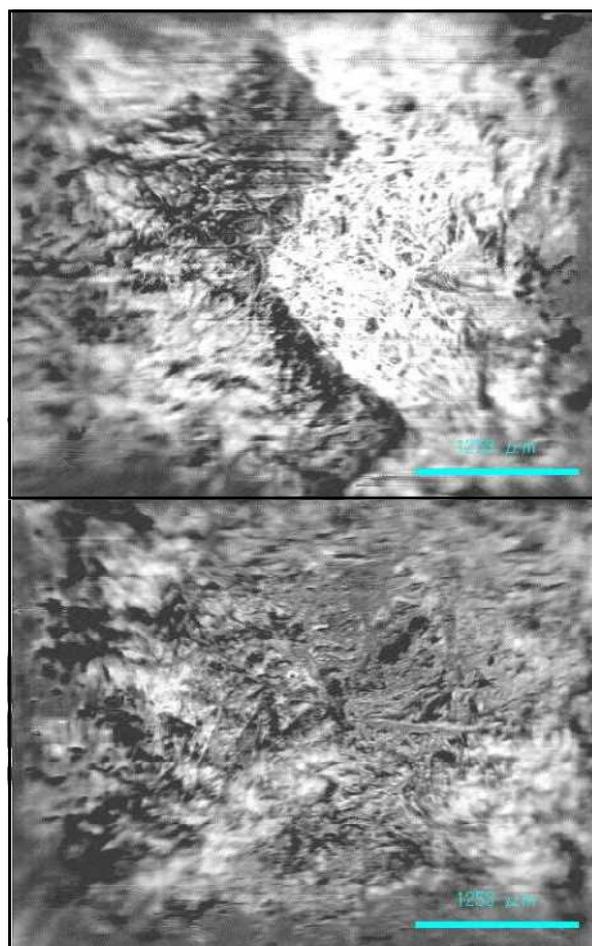


図3 ボールペンのインク（上）と「こすると消えるボールペン」のインク（下）

下）で描いたろ紙は、ろ紙の繊維が倒れている以外に、線を引いた様子を確認することができなかった。

この原因について考察を行った。鉛筆には黒鉛，ゲルインクボールペンの顔料にはカーボンブラックがそれぞれ含まれている<sup>※3)</sup>ことから、描いたところは電気を通し、線は白くなる。一方、こすると消えるボールペンは、ロイコ染料という有機化合物がインクに使われている<sup>※4)</sup>。有機化合物も構造により電気を流す場合があるが、今回のボールペンに入っていたインクは流さない構造だったのではないかと考えている。

#### (4) 弾性ボールと非弾性ボール

いずれも教材（弾性・非弾性ボールセット（ケニス））として売られている，反発係数が1に近く良く跳ねるボールと反発係数が0に近く全く跳ねないボールの内部をそれぞれ薄く切り取り，MOBILESEMで観察を行った（図4）。

弾性ボールはゴムの粒子が粗く，粒子間に隙間があるようにも見えた。一方で非弾性ボールはきめの細かい粒子がびっしりと並んでいる様子が確認できた。

弾性ボールは運動エネルギーを受け変形した所が，ゴム粒子間の架橋を生かして元の形に戻ろうとするとときに，反発の力が生じて跳ね上がる。一方，非弾性ボールは運動エネルギーを受け止め，大部分を熱エネルギーとして放出してしまうためほとんど跳ねない<sup>\*5)</sup>。これらの性質の違いが構造上の違いから生じている可能性

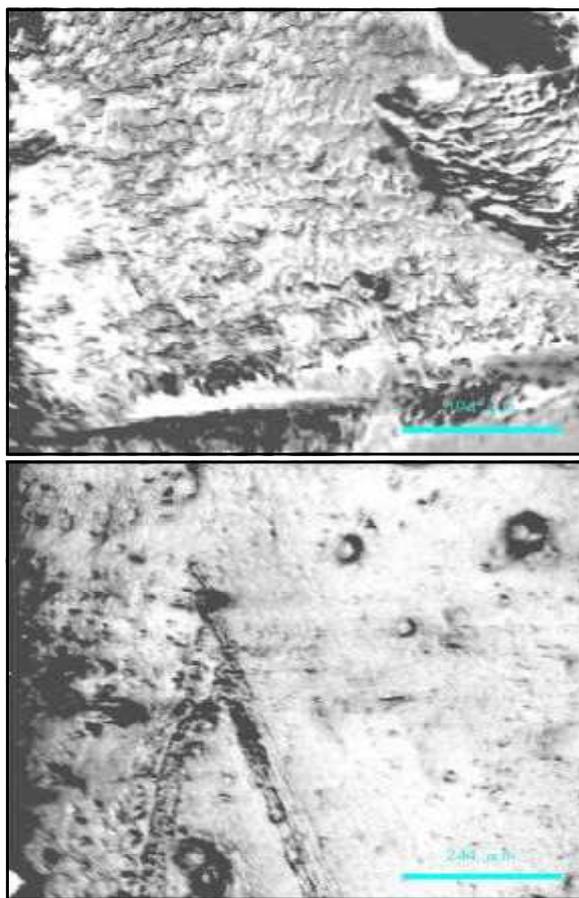


図4 弾性ボールの断面（上）と非弾性ボールの断面（下）

を，観察を通して確認することができた。

#### (5) 多孔質物質の観察

今年度のサイエンスカーのコンテンツに利用している星の砂の画像が好評であることから，石のようにしか見えない物質も，より精細に観察すると違いがあることがわかる教材を作りたいと考え，沸騰石，天然ゼオライト（魚焼の達人（ゼオライト化成）），人工ゼオライト（モレキュラーシーブス4A（和光純薬））の，MOBILESEMによる観察を行った。

沸騰石には低分解能の段階から大きな隙間があることが確認でき（図5），水の突沸を防ぐ微少な気泡を出すための空気をため込むスペースとなっていることが示唆された。

今回用いた天然ゼオライトは，モルデナイトとクリノブチライトの混合物である。天然物のため，粒子の大きさがそろっているところとそうでないところの混在が確認できた（図6上）。

人工ゼオライトには，洗剤や乾燥剤等に現在最も広く使われている，A型のものを用いた。今回観察したモレキュラーシーブス4Aは，100meshより細かい粒子を2～6mmのペレット状にしたものである。MOBILESEMで観察すると，粒子径が10 $\mu$ m程度の丸い粒子が，規則正しく含まれている様子が示唆された（図6下）。

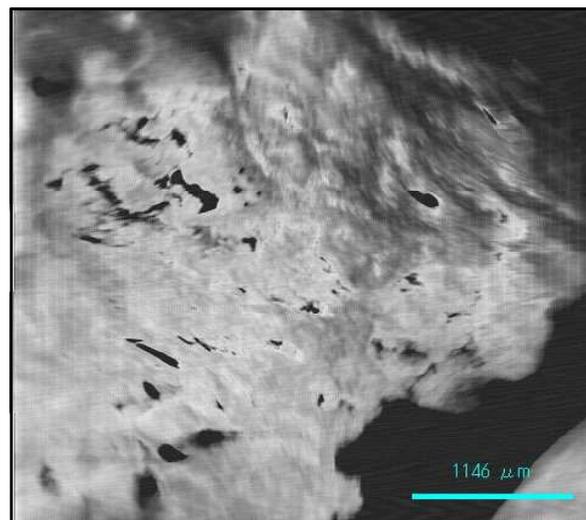


図5 沸騰石

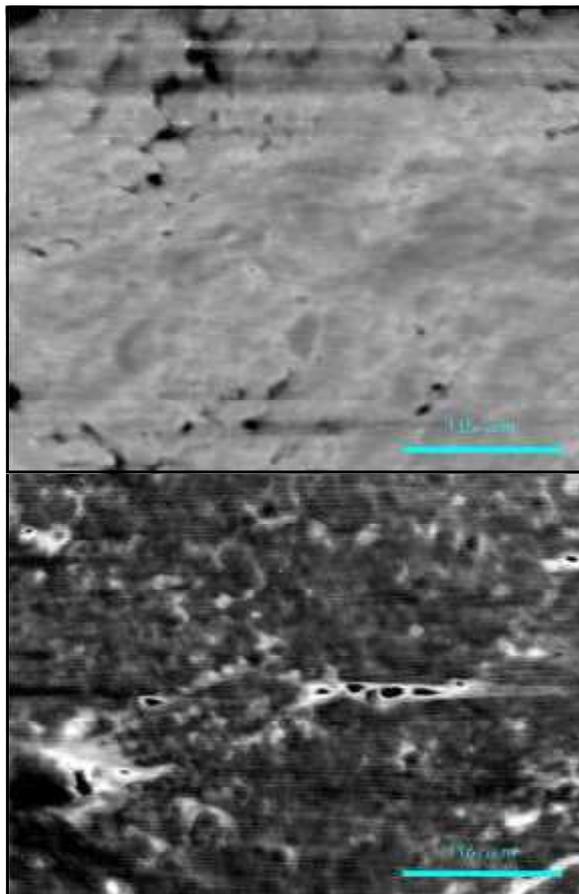


図6 天然ゼオライト（上）と人工ゼオライト（下）

### 3 学習教材化に向けて

今年度のサイエンスカーでは、画像の種類が少なかったこともあり、画像データのみをモニターに映示していた。しかし、写真データの種類を増やし、かつ小学生にはなじみの薄いコンテンツも増えてくると、より丁寧な説明が必要となる。そこで、はじめに電子顕微鏡の仕組みについて説明したスライド画像を入れたり、電子顕微鏡画像やその前後に、説明資料や肉眼で見た試料の画像を挿入したりした映示データを作製した（図7）。また、中学校や高校における通常の授業でも活用できるよう、必要に応じてメディアでデータを配布できるような形で準備した。今後、映示データをサイエンスカーで放映できるよう準備を進めるとともに、メディアについては、研修講座での映示に用いたり、

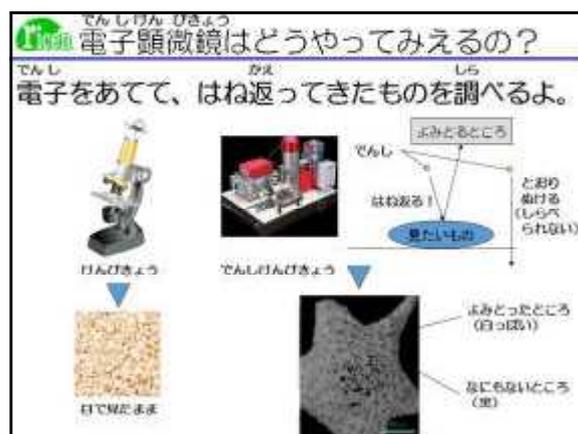


図7 電子顕微鏡の仕組みを説明したスライド画像の一部

希望者に配布したりすることを考えている。

また、電子顕微鏡本体は高価なため、子どもたちが興味を持って自由に触らせることができないこと、また、常時サイエンスカーに積載し車の振動にさらすことは、MOBILESEMの故障を増やすことに繋がりがねないとのメーカーの見解が示されたことから、メーカーの協力を得て電子顕微鏡のモックアップ（実物大模型）を作製することとし、その準備を進めている。準備が出来次第、次年度以降の移動理科教室では、モックアップの積載に置き換えるとともに、映示データを見て興味を持った子どもたちが、モックアップの一部に触れたり、鏡筒部の断面写真やPOPの説明を見てさらに理解を深められるようにしていく予定である。

### 4 まとめと今後の展開

#### (1) まとめ

筆者は今回、サイエンスカーの更新に合わせて導入されたMOBILESEMを活用して、日常生活や学校の授業で用いられる材料等を撮影した電子顕微鏡画像を用意し、肉眼では同じように見える試料同士でも、電子顕微鏡画像で比べると違いがあることを理解させることを目的とした学習教材を作製した。そして、作製した教材を、移動理科教室や授業で活用することにより、科

学への興味・関心を高めるとともに、粒子概念の定着と確実な理解を促していくことが出来ると考えている。

## (2) 電子顕微鏡の活用拡大に向けて

移動理科教室事業は学校からの関心が非常に高く、次年度以降、これまでの年間6管内（特別支援学校を含め計20校程度）の訪問よりも拡大していくことを予定しているが、それでも現在の活用方法のみでMOBILESEMの費用対効果が十分得られるとは考えていない。現状でも理センに置かれている期間の方が長く、モックアップを設置できれば、MOBILESEMは理センに常置されることになる。

次期高等学校学習指導要領では、理数探究や総合的な探究の時間に代表される課題探究型の授業が導入され、SSH校に加え多くの普通高校でも課題研究が増加することが予想されている。また、通常の授業でも「主体的・対話的で深い学び」が展開され、従来より最新の科学技術に依る視点から、生徒に考えさせる授業が増加していく<sup>\*7)</sup>。年々活発になる理科系部活動も、さらに充実したものとなっていくはずである。こうした授業や部活動において、生徒が電子顕微鏡を活用したり、先生が電子顕微鏡で教材を作製したりする場面の増加は十分考えられ、そうしたニーズに広く応えていくことで、MOBILESEMの費用対効果を高めていくことが可能であると考えている。今後、装置の周知や利用マニュアル等の整備、要望に応じた指導助言を行う体制づくりをしていきたい。

また、今年度の活用は、機器を管理する化学分野にとどまったが、中学校教科書に掲載された写真の多くは生物分野であったことから、今後生物分野での活用を広げていくことが、画像コンテンツの充実や学校等の活用拡大に繋がると考えている。イオン液体の塗布で生物試料がどこまで観察できるかが最大の課題であるが、初等学校班や生物班と連携しながら拡大に向けた検討を進めていきたい。

## おわりに

機器の保守管理や利用にあたりご指導・ご助言いただいたとともに、モックアップの作製にご尽力いただいている、新日本電工（株）生産事業部の皆様に厚く御礼申し上げます。また、当センターへの電子顕微鏡の導入に先立ち教員研修での活用法についてご指導いただいた、静岡県総合教育センターの飯田寛志指導主事に御礼申し上げます。なお、本研究は、2016年度武田科学振興財団 高等学校理科教育振興奨励の助成を受けて行われたものであることを申し添えます。

## 参考文献

- 1) 例えば、東京書籍、新編 新しい化学1 など。
- 2) 例えば、東京書籍、新編化学基礎など。
- 3) 竹内洋二他、水性ボールペン用インク組成物、国際公開特許公報 WO 2014058024 A1。
- 4) もっと知りたいフリクション!#1 開発者に聞くインクの仕組み、パイロット（株）ホームページ。
- 5) ハネナイト、内外ゴム（株）ホームページ。
- 6) 松橋博美、ゼオライトの化学、化学と教育、61(1)、pp. 16-19, 2013。
- 7) 清原洋一、中央教育審議会「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）」、理科の教育、66(2)、pp. 4-7, 2017。

（いとう たかゆき 化学研究班）