

小学校における微小粒子状物質の教材化

飯野直子*¹・大原一馬*²

Teaching material development about fine particulate matter for elementary school

Naoko Iino *¹ and Kazuma Ohara *²

(Received September 28, 2018)

PM_{2.5} is an airborne particulate matter with diameter less than 2.5 μm. Suspended particle matter in the atmosphere is a complex mixture that consists of the various origins, thus it is related to the various study contents of the elementary school science. Therefore, PM_{2.5} can be studied by using the knowledge and skill acquired from that by studying the elementary school science. Moreover, because relations with the society are strong, PM_{2.5} is a suitable learning theme studying relating it to the regional characteristics and to the various elementary school subjects. In addition, PM_{2.5} is also a useful learning theme for cultivating the ability to collect solid information independently, and to make an appropriate decision making and to select the behavior. Then, in this study, we developed the teaching material concerning PM_{2.5} in the elementary school science.

Key words : PM_{2.5}, atmospheric environment, science education, cross curriculum, ICT

1. はじめに

2013年1月に北京など中国の広範囲の都市で微小粒子状物質 (PM_{2.5}: 大気中に浮遊する粒径が2.5 μm以下の粒子) による「深刻な汚染」が発生したことが報道されて以降、大気汚染物質 PM_{2.5} に対する日本国民の関心が急速に高まり、社会問題にまでなった。九州は地理的な条件から大陸からの越境大気汚染の影響を受けやすいため、2013年の春には高濃度の PM_{2.5} のために運動会を延期したり、屋外での体育を自粛する対応をとる学校がでるなど、教育現場にも影響が及んだ。現在では、天気予報のなかで PM_{2.5} に関する予報が提供されるなど、日常生活において PM_{2.5} は耳慣れたものになったが、具体的にどのようなものであるのかや日常生活においてどのような注意・対応が必要なのかなどを正しく理解している人は少ないと思われる。

小中学校の次期学習指導要領が平成29(2017)年3月に告示された [1]。未来を拓く子どもたちに求められる資質・能力を「主体的・対話的で深い学び」によって身に付けられるような指導が求められている。これまでも小中学校における理科の学習指導は問題解決の

過程を通して行われており、次期学習指導要領でも方向性は変わらない。今後ますます「主体的・対話的で深い学び」として科学的に探究する活動を充実したり、日常生活や社会との関連を重視した教科横断的な学習を充実したりする必要がある。児童生徒が獲得した資質・能力に支えられた理科やその他の教科の「見方・考え方」を働かせながら、自分事として探究的に取り組む「深い学び」を提供するためには、児童生徒にとって身近な地域の環境を題材とした地域教材が有用であると考えられる。また、平成28(2016)年12月の中央教育審議会の答申 [2] の中で示された子供たちの現状と課題のなかで次のことが述べられている。「子供の健康に関しては、…(中略)…様々な自然災害の発生や、情報化やグローバル化等の社会の変化に伴い、子供を取り巻く安全に関する環境も変化している。こうした課題を乗り越えるためには、必要な情報を自ら収集し、適切な意思決定や行動選択を行うことができる力を子供たち一人一人に育むことが課題となっている」。つまり、自然災害や環境問題に対して主体的に適切に対応する力の育成が必要であると考えられる。

そこで本研究では、小学校理科における PM_{2.5} の教材化に取り組むこととした。複雑な要因で発生する PM_{2.5} を他教科と関連付けながら学習することによっ

*¹ 熊本大学大学院教育学研究科

*² 熊本大学教育学部 (現 福岡県東峰村立東峰学園)

て、社会とのつながりを実感しながら、理科で学習したことを活用して、主体的に課題解決に取り組む力とはぐくまれると考える。また、メディアが発信する情報に惑わされることなく、信頼できる情報を自ら収集し、適切な意思決定や行動選択を行なう力を子供たちに身に付けさせる可能性をもつ題材であると考え。

2. 粒子状物質

環境大気中に浮遊している粒子状物質は多くの成分の混合物として存在している。その生成機構により、一次発生粒子と二次生成粒子に分類される。一次発生粒子は発生源から直接大気中へ粒子として放出されるものであり、二次生成粒子は大気中に放出されたときには気体であるが、放出後の化学反応により、より揮発性の低い物質に変化して凝縮したり、既存の粒子上に拡散付着して相変化を起こし、二次的に粒子となるものである [3, 4]。

海水の波しぶきから生成する海塩粒子、強風により巻き上げられる土壌粉じん、火山噴火によってもたらされる火山灰や花粉などの自然起源の一次発生粒子は粒径およそ $2\mu\text{m}$ 以上の粗大粒子として存在している。一方、化石燃料の燃焼に伴って発生放出される燃焼起源の煤煙や黒煙は人為起源の一次発生粒子である。これらの多くは、放出時は二酸化硫黄 (SO_2) や窒素酸化物 (NO_x)、揮発性有機化合物 (VOC) などのガス状物質であったものが、大気中で光化学反応や中和反応などを受けて生成する二次生成粒子とともに、粒径およそ $2\mu\text{m}$ 以下の微小粒子として大気中に長期にわたって浮遊している。これらの微小粒子は呼吸器系の奥深く、肺胞レベルまで達するため人の健康に影響を与えたり、可視光を吸収したり散乱したりするため、視程の悪化や交通障害、気候変動にも影響を与えている [3, 4]。

日本では 2009 年 9 月に $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準が告示され、1 日の平均値で $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、年間平均値で $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と定められた。環境基本法にいう環境基準は、人の健康を維持するための最低限度ではなく、「維持されることが望ましい基準」である。つまり環境基準を上回ったら、即健康に害があるというものではないが、積極的に維持されることが望ましい行政上の目標として定められている。なお、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の日平均値が $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることが見込まれた場合には、「 $\text{PM}_{2.5}$ 注意喚起のための暫定的な指針」に基づき、地方自治体による注意喚起が実施されている [5]。

平成 28 (2016) 年度大気汚染の状況 [6] によると、平成 28 年度の $\text{PM}_{2.5}$ の有効測定局数は 1008 局 (一般環境大気測定局 : 785 局, 自動車排出ガス測定局 :

223 局) で、環境基準達成率は、一般局で 88.7%、自排局で 88.3% であり、前年度 (一般局 : 74.5%, 自排局 : 58.4%) に比べて改善しているが、中国・四国地方の瀬戸内海に面する地域や九州地方では、環境基準達成率が 30% から 60% 程度と低い地域がある。大気化学輸送モデルを用いた研究でも (例えば [7, 8]), $\text{PM}_{2.5}$ は越境大気汚染の寄与が大きく、特に大陸に近い九州や西日本で顕著であることが示されている。ただし、最近の化学輸送モデルによる解析によると、近年の日本国内 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の減少は中国での排出量減少によるものであり、中国で今の排出減少率が継続すれば、今後 1~2 年で日本国内の $\text{PM}_{2.5}$ 高濃度越境大気汚染問題は急速に改善するとの見通しも示されている [9]。

3. 小学校における $\text{PM}_{2.5}$ の教材化

3.1 小学校理科カリキュラムとの関連

小学校理科カリキュラム [10] から、 $\text{PM}_{2.5}$ と関係する学習内容を扱っている単元を学年ごとに抽出した。

小学校第 3 学年ではエネルギー領域の「風とゴムの力の働き」と「光と音の性質」の 2 つの単元が関係する。「風とゴムの力の働き」では、風で物を動かすことができることを学ぶことから、風が $\text{PM}_{2.5}$ を運ぶということに結びつけることができる。「光と音の性質」では、光に関して、日光は集めたり反射させたりできることを学ぶ。この単元では、ものは光が反射することでもみることができ、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の増加によって光が散乱されて視程 (水平方向の見通し) の悪化につながるということに結びつけることができる。

小学校第 4 学年では粒子領域の「金属、水、空気と温度」と地球領域の「天気の様子」の 2 つの単元が関係する。「金属、水、空気と温度」では、水が温度によって水蒸気や水に変わるという水の三態変化を学ぶ。「天気の様子」では、水は水面や地面から蒸発し、水蒸気になって空気中に含まれていることや、空気の水蒸気は結露して再び水になって現れることを学ぶ。これらの単元の学習は、空気中の水蒸気が冷やされて $\text{PM}_{2.5}$ を含むエアロゾルを核とし (取り込んで) 雲 (や雨) が形成されるということに関係しているが、雲の発生は中学校理科の学習内容であるため、小学校理科を対象とする本研究の授業構想では取り扱わないこととする。

小学校第 5 学年では、粒子領域の「物の溶け方」、生命領域の「植物の発芽、成長、結実」、地球領域の「天気の変化」の 3 つの単元が関係する。「物の溶け方」では物が水に溶ける量は水の温度や量、溶ける物によって違うこと。また、この性質を利用して、溶けて

いる物を取り出すことができることを学ぶ。この単元では、粒子状物質の中でも自然起源である海塩の生成と結びつけることができる。「植物の発芽、成長、結実」では、花にはおしべやめしべがあり、花粉がめしべの先に付くとめしべのものが実になり、実の中に種子ができることを学ぶ。この単元では、粒子状物質の自然起源である花粉と結びつけることができる。「天気の変化」では雲の量や動きが天気の変化と関係があることや、天気はおよそ西から東に変化していくという規則性があり、映像などの気象情報を用いて予想ができることを学ぶ。この単元では、PM_{2.5}などの大気汚染物質の大陸からの越境輸送に関する基本的な考え方や情報の活用と結びつけることができる。

小学校第6学年では、エネルギー領域の「電気の利用」、粒子領域の「燃焼の仕組み」と「水溶液の性質」、生命領域の「人の体のつくりと働き」と「生物と環境」、地球領域の「土地のつくりと変化」の6つの単元と関係している。「電気の利用」では、電気はつくりだしたり蓄えたりできることを学ぶ。この単元では電気をつくる火力発電所がPM_{2.5}の発生源になっていることと結びつけることができる。「燃焼の仕組み」では、植物体が燃えるときには、空気中の酸素が使われて二酸化炭素ができることを学ぶ。この単元では、化石燃料を燃やすことがPM_{2.5}の発生源になっていることや、燃料を燃やすことにより出た煙などが人体に影響を与えることと結びつけることができる。また、地域によっては農業残渣物のバイオマス燃焼（野焼き）を扱うこともできる。「水溶液の性質」では、水溶液には、酸性、アルカリ性及び中性のものがあること。水溶液には、気体が溶けているものがあることを学ぶ。この単元では、PM_{2.5}の主要成分は硫酸塩や硝酸塩などの酸性の物質であることや酸性雨などに結びつけることができるが、化学式や化学反応式は小学校で取り扱わないため、深入りはしないようにする。「人の体のつくりと働き」では、体内に酸素が取り入れられ、体外に二酸化炭素などが出されていることや、体内には、生命活動を維持するための様々な臓器があることを学ぶ。この単元では、呼吸をしてPM_{2.5}を肺に取り込むことによる人体への影響に結び付けることができる。「生物と環境」では、生物は、水及び空気を通して周囲の環境とかわかって生きていることを学ぶ。次期学習指導要領から新規項目として、人と環境との関わりについての学習が追加されている。この単元では、人が環境に影響をおよぼしている例として人為起源のPM_{2.5}を扱ったり、環境から人の生活へ及ぼす影響を少なくする工夫として情報活用と結びつけたりすることができる。「土地のつくりと変化」では、土地は、礫、砂、泥、火山灰などからできており、層をつくっ

て広がっているものがあることや、土地は火山の噴火や地震によって変化することなどを学ぶ。この単元ではPM_{2.5}の自然起源である火山灰や火山ガス（SO₂）と結びつけることができる。

以上、13のPM_{2.5}に関連した単元（学習）を結びつける要素として、①輸送・気象、②健康・安全、③自然起源、④人為起源の4つの観点を抽出した。観点①、②、③、④をそれぞれ赤、黄、緑、紫色で区別して、PM_{2.5}に関する学習のつながりを図1に示す。すべての観点が、図中の黒の太点線で囲った、第6学年の生命領域「生物と環境」と関連していることより、本単元においてPM_{2.5}の教材化を行うこととする。

3.2 教材化のポイント

教材化では、以下の4つのポイントを重視した。①児童が視覚的にPM_{2.5}を捉えることができる教材・教具を用いる、②理科の既習事項と関連付けながら学習する、③他教科と関連付けながら学習する、④情報・ICT活用を取り入れた学習とする。それぞれのポイントを定めた意図は以下の通りである。

PM_{2.5}は非常に微小な物質であるため、ヒトの目で直接見ることはできない。このため、児童がPM_{2.5}について具体的なイメージを持つことが難しいのではないかと考えた。そこで児童が視覚的にPM_{2.5}を捉えることができるモデル教材や簡易測定器を用いて測定した身近な環境中のPM_{2.5}濃度データを用いることにより、児童がPM_{2.5}について具体的なイメージを持つことができ、さらに、児童がPM_{2.5}について興味関心を持ちながら、授業に取り組むことが可能であると考えた[ポイント①]。

図1のPM_{2.5}に関連する小学校理科学習のつながりを示す関連図から、PM_{2.5}は小学校理科で学んできた様々な単元と関連があるということを見て取ることができる。このことから、小学校理科の学習で習得した知識や技能を活用しながら、PM_{2.5}について学習を進めていくことが可能であると考えた[ポイント②]。

平成29年3月に公示された小学校学習指導要領[11]の「第1章 総則」の「第2 教育課程の編成」で、以下のように示された。

「(1) 各学校においては、児童の発達の段階を考慮し、言語能力、情報活用能力（情報モラルを含む）、問題発見・解決能力等の学習の基盤となる資質・能力を育成していくことができるよう、各教科等の特質を生かし、教科等横断的な視点から教育課程の編成を図るものとする。(2) 各学校においては、児童や学校、地域の実態及び児童の発達の段階を考慮し、豊かな人生の実現や災害等を乗り越えて次代の社会を形成することに向けた現代的な諸課題に対応して求められる資

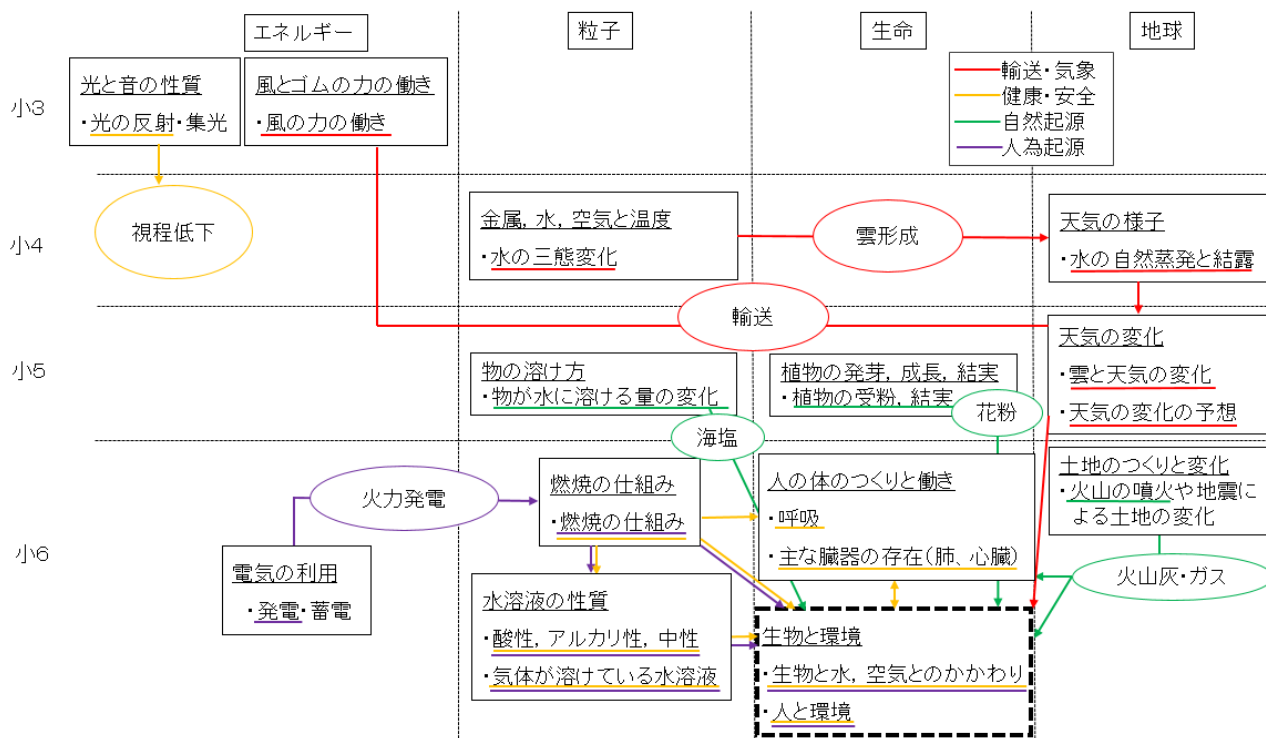


図1 PM_{2.5}と小学校理科カリキュラムの関連図

質・能力を、教科横断的な視点で育成していくことができるよう、各学校の特色を生かした教育課程の編成を図るものとする」。

これまでも総合・合科的学習指導は行なわれてきたが、次期学習指導要領において、教科等横断的な視点がますます重視されていることがわかる。PM_{2.5}は社会や日常生活との関わりが大きいことから、地域の実態や他教科と関連させて総合的な見方・考え方を働かせて学習を進めるのに適していると考えた [ポイント③]。

1章はじめにの中で述べたように、中央教育審議会答申 [2] では、必要な情報を自ら収集し、適切な意思決定や行動選択を行うことができる力の育成が課題としてあげられている。PM_{2.5}に関する信頼できる情報をICTを活用して収集し、自らの行動を判断させる活動を取り入れた学習が有用であると考えた [ポイント④]。

3.3 授業構想

PM_{2.5}についての基礎的な知識を理科の既習事項や他教科と関連付けて理解すること、PM_{2.5}に関する信頼できる情報を正しく理解し、それを踏まえて自ら考え行動することができるようにすることを指導目標とする。指導計画とモデル教材を表1と図2に示し、以下に5時間の流れを述べる。

最初の1時間を全時間における導入となるような時間とする。まずは、同じ場所を撮影した視程が良い日と悪い日の画像を見て、この違いはどういった要因からなっているかを考えさせる。このときにPM_{2.5}が高濃度になった日の新聞記事を提示し、大気が霞む現象にPM_{2.5}が関係していることがあることに気づかせる。次に、PM_{2.5}の言葉の意味 (Particulate Matter: 粒子状物質, 2.5: 粒子の直径の大きさ) について理解させた後に、自分の身の回りに大気中に浮遊する粒子状物質はないか考えさせる (チョークの粉, 花粉, 校庭の砂ぼこり, 自動車の排気ガスなど)。このときに、PM_{2.5}などの粒子状物質についてのモデル (ビニールボールや紙粘土で作成したもの: 図2a) を見せ、肉眼で見ることができないPM_{2.5}についての大きさのイメージを持たせた上で、身近にも様々な粒子状物質が存在しているということを理解させる。[ポイント①モデルによる視覚化, ポイント②既習事項 (第3学年の風とゴムの力の働き, 光と音の性質) との関連, ポイント③他教科 (英語科, 算数科) との関連]

2, 3時間目を通して、PM_{2.5}がどういったものから発生しているのかということを理解させる。簡易測定器 (PM_{2.5}: FUSO社製, データロガー環境モニター PM_{2.5} PM-1063SD, CO₂: T&D社製, CO₂・温度・湿度データロガー TR-76Ui) を用いて、線香を燃焼させてPM_{2.5}濃度とCO₂濃度を測定する演示実験を行い、

表1 指導計画

次	学習活動	学習内容	時間
1	身近にある粒子状物質について理解する。	<ul style="list-style-type: none"> • 同じ場所を撮影した、視程の良い日と悪い日の風景写真をみて、その違いから原因を考える。 • PM_{2.5} の言葉の意味について理解する。 • チョークの粉や花粉など身近な粒子状物質について理解する。 • 具体的なモデル（図 2a）から、身近な粒子状物質や PM_{2.5} の大きさのイメージを持つ。 	1
2	PM _{2.5} がどういったものから発生しているのか理解する。	<ul style="list-style-type: none"> • 簡易測定器を用いて線香を燃やしたときの PM_{2.5} と CO₂ 濃度を測定する演示実験をみて、線香の煙には PM_{2.5} が含まれていること、PM_{2.5} の発生には燃焼が関係していることを理解する。 • 自動車の多い道路での測定の結果から、自動車（特にディーゼル車）の排気ガスには PM_{2.5} が含まれていること、PM_{2.5} の発生には燃焼が関係していることを理解する。 • 自然起源も含めて、PM_{2.5} がどのようなものから発生しているのか理解する。 	2
3	PM _{2.5} が人体にどういった影響があるのか理解する。	<ul style="list-style-type: none"> • 日本で大気汚染が広がっていた 1960 年代の写真をみて、健康への影響に気付く。 • 喫煙所での測定結果から、タバコの煙には PM_{2.5} が含まれていることを理解する。 • タバコの煙にはたくさんの有害物質が含まれていることを知る。 • 肺のモデル（図 2b）を用いて、PM_{2.5} が肺の奥深くまで入り込む過程について理解する。 • PM_{2.5} には大気汚染物質が含まれており、それが人体に悪影響を及ぼしているということを理解する。 	1
4	PM _{2.5} に関する情報を活用する。	<ul style="list-style-type: none"> • PM_{2.5} は中国などの大陸からも輸送されてきているということを理解する。 • タブレット端末等を用いて、PM_{2.5} に関する情報を提供しているサイトにアクセスして、そのサイトの特徴をまとめる。 • PM_{2.5} 濃度が高いという様々なシチュエーションに対して、PM_{2.5} に関する情報をどのように活用して、どのような行動を取ることができるか考える。 	1

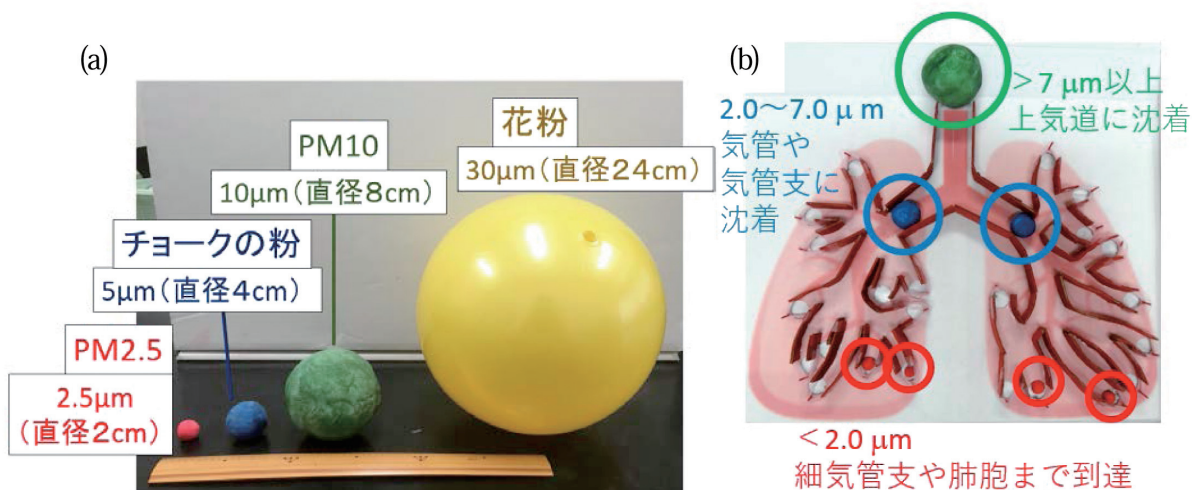


図2 モデル教材

線香の煙にはPM_{2.5}が含まれていること、PM_{2.5}の発生には燃焼が関係していることを理解させる。次に自動車の交通量の多い地点でPM_{2.5}濃度とCO₂濃度を測定した時系列グラフとそのときの道路の様子を撮影した写真を示す。自動車は児童にとっても身近であるため、より興味を引くことができ、考えやすいのではないかと考える。この結果から、自動車（特にバスや大型トラックなどのディーゼル車）から発生する排気ガスにもPM_{2.5}が含まれていること、PM_{2.5}の発生には化石燃料の燃焼が関係していることを理解させる。また、その他にPM_{2.5}がどのようなものから発生しているのか理解させるために、生活環境のイラスト（例えば、小学校理科教科書に掲載されている図 [12]）を用いて考えさせる。このとき理科の既習事項とも関連させて、PM_{2.5}は火力発電所や自動車などから排出される煙などの人為起源だけでなく、花粉や火山噴煙、海塩などの自然起源のものもあるということを理解させる。また、PM_{2.5}は煙などのように直接粒子として排出されるものだけでなく、工場や自動車、火山などから排出された酸性の気体が大気中で輸送される間に化学反応した結果、生成されるものもあるということにもふれる。[ポイント①簡易測定器を用いた濃度データによる視覚化、ポイント②既習事項（第6学年の燃焼の仕組み、電気の利用、水溶液の性質、土地のつくりと変化、および第5学年の物の溶け方、植物の発芽、成長、結実）との関連]。

4時間目は、PM_{2.5}が人体にどういった影響があるかを学習する。日本で大気汚染が広がっていた1960年代の写真を提示し、社会科とも関連させながら健康への影響に着目させる。次に、喫煙所におけるPM_{2.5}濃度の測定結果から、タバコの煙にはPM_{2.5}が含まれているということを理解させる。また、体育科の保健領域と関連させながら、タバコの煙にはたくさんの有害物質が含まれているということも理解させる。そして、肺のモデルと粒子状物質のモデルを用いて、タバコの煙（PM_{2.5}）が肺の奥深くまで入り込む様子を視覚的に理解させる（図2b）。また、タバコの煙以外の粒子状物質にも人体に有害である化学物質が吸着していることがあることを理解させる。最後に、PM_{2.5}は粒子の直径が小さいため肺の奥深くまでたどり着くため人体により影響が出やすいといわれていることをまとめる。[ポイント①肺と粒子状物質のモデルによる視覚化、ポイント②既習事項（第6学年の人の体のつくりと働き）との関連、ポイント③他教科（社会科、体育科）との関連]。

5時間目は、健康影響を軽減するためのPM_{2.5}に関する情報活用について学習する。PM_{2.5}は身近な地域からの排出だけではなく、中国などの大陸から越境し

てくることもあるということを理解させる。このときに、中国大陸と日本列島の位置関係を示したり、国立環境研究所の大気汚染予測システム [13] の動画から大陸に近い地方の方が越境起源の影響を受けやすいことに気付かせる。次にタブレット端末等を用いて、PM_{2.5}に関する情報を提供しているサイト（PM_{2.5}の予測：国立環境研究所 [13] や気象協会 [14]、九州大学 [15]、PM_{2.5}の実測値：環境省 [16] や地方自治体 [例えば、熊本であれば17]）について調べ、それぞれのサイトの特徴についてまとめる。最後に、翌日にPM_{2.5}が高濃度となりそうであったり、朝の大気が霞んでいるといった、具体的なシチュエーションを提示し、その提示されたシチュエーションに対して、PM_{2.5}に関するどのような情報を活用して、どのような行動を取ることができるか考えさせる [ポイント②既習事項（第3学年の風とゴムの力の働きと第5学年の天気の変化）との関連、ポイント③他教科（社会科）との関連、ポイント④情報・ICT活用]。

4. おわりに

PM_{2.5}濃度の年平均値は、平成22年度の常時監視開始以降、平成26年度まで横ばいで推移していたが、平成27年度には一般局、自排局ともに初めて長期基準の基準値（年間平均値で15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下）を下回った。地方自治体による注意喚起の件数も、平成25年度の37件から平成29年度は2件と減少した [18]。2章で述べたように、モデルを用いた解析から、近年の日本国内におけるPM_{2.5}濃度の減少は中国の排出量減少によるものであることが明らかになっており、今後数年でPM_{2.5}高濃度越境大気汚染問題は急速に改善されるとの見通しも示されている [9]。しかし、PM_{2.5}高濃度事象の発生には、越境大気汚染によるものに加えて、自動車排出ガス、気象条件（風の収束や接地逆転層など）、農畜産業、火山の影響など、様々な要因がある。越境汚染が軽減すると相対的に日本国内や地域起源の発生源寄与が増大するため、PM_{2.5}の基礎知識および児童生徒が生活している地域の特性をより詳細に理解する必要性が高まると考えられる。今後は中学校や高等学校における探究的な学習題材としてPM_{2.5}の教材化を行なっていきたい。

謝 辞

本研究はJSPS 科研費15K00924 および18K02982の助成を受けたものです。

文献・URL

- [1] 文部科学省, 学習指導要領「生きる力」:
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm
- [2] 文部科学省, 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)(中教審第197号):
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1380731.htm
- [3] 横山栄二・内山巖雄編, 大気中微小粒子の環境・健康影響, 第2章 pp.16-30, 日本環境衛生センター, 2000.
- [4] 編集企画委員会, 知っておきたいPM_{2.5}の基礎知識, 第1章 pp.1-15, 日本環境衛生センター, 2013.
- [5] 環境省, 微小粒子状物質(PM_{2.5})に関する情報:
<http://www.env.go.jp/air/osen/pm/info.html>
- [6] 環境省, 平成28年度大気汚染の状況:
<http://www.env.go.jp/air/osen/28taikiosen.pdf>
- [7] 板橋秀一・速見洋, 2010年度を対象としたトレーサー法によるわが国の微小粒子状物質(PM_{2.5})の発生源寄与評価, 大気環境学会誌51, pp.197-217, 2016.
- [8] 鶴野伊津志・桑原昇平・王哲・板橋秀一・弓本桂也・長田和雄・山本重一, ソース・レセプター手法を用いた西日本・日本海沿岸へのPM_{2.5}越境輸送の解析, エアロゾル研究32, pp.188-198, 2017.
- [9] 鶴野伊津志・王哲・弓本桂也・板橋秀一・長田和雄・入江仁士・山本重一・早崎将光・菅田誠治, PM_{2.5}越境問題は終焉に向かっているのか?, 大気環境学会誌52, pp.177-184, 2018.
- [10] 文部科学省, 小学校学習指導要領(平成29年公示)解説理科編, 東洋館出版社, 2018.
- [11] 文部科学省, 小学校学習指導要領(平成29年公示), 東洋館出版社, p.19, 2018.
- [12] 有馬朗人他, 新版たのしい理科6年, 大日本図書, pp.178-179, 2015.
- [13] 国立環境研究所, 大気汚染予測システムVENUS:
<http://venus.nies.go.jp/>
- [14] 日本気象協会, PMPM_{2.5}分布予測:
<https://tenki.jp/pm25/>
- [15] 九州大学応用力学研究所気候変動科学分野, SPRINTERS:
<https://sprintars.riam.kyushu-u.ac.jp/forecastj.html>
- [16] 環境省, 大気汚染物質広域監視システム:
<http://soramame.taiki.go.jp/>
- [17] 熊本県, 熊本県の大気環境の状況:
<http://taiki.pref.kumamoto.jp/kumamoto-taiki/index.htm>
- [18] 上尾一之, PM_{2.5}に関する環境省の取組みについて, 第59回大気環境学会年会講演要旨集, pp.126-127, 2018.

URLは2018年9月27日に確認。