

サーモグラフィーやサーモインクを活用した 理科教材の開発とその指導の在り方

飛騨教育事務所 山田茂樹
飛騨市立河合小学校 樹下安雄
高山市立東小学校 柘植一輝
岐阜大学教育学部 川上紳一

1. はじめに

新しい学習指導要領では、目的意識をもった観察、実験などを行い、科学的に調べる能力や態度を育てることや、科学的な認識の定着を図るという改善の方針が出されている（文部科学省、2008）。とりわけ、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として学習内容を構成し、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図ることが鮮明に打ち出されている。「エネルギー」の概念については、新たに導入された「風やゴムの働き」や「電気の利用」のほか、「金属、水、空気と温度」、「太陽と地面の様子」など、多くの単元で関連性が見出せるものであり、児童・生徒の興味や関心を高め、学習意欲をかきたてるような教材の工夫によって、長期的な視点に立って総合的なものの見方を育成できるものと期待される。

そのなかで、熱の伝わり方や温度の違いは、時間的、空間的な変化を伴うものであり、児童・生徒にとっては、現象をつかみにくい側面があるが、現象を的確にとらえさせることができれば、自然界の事象を時間的、空間的に探究するような力を身に付ける機会にもできる。サーモグラフィー（熱画像装置）は、温度分布を色調の違いとして視覚化できる測定器具であり、授業のなかで測定することができれば、こうした新しい理科学習のスタイルを実現する可能性を秘めている。これまでも、「金属、水、空気と温度（温まり方の違い）」については、サーモグラフィーによるデジタルコンテンツが開発されており、視聴覚教材として授業で利用できるものが公開されている。

これまでは、サーモグラフィーは高価な測定装置であり、小中学校の理科授業で活用することはとても不可能なものとされてきた。しかし、安価にレンタルできるようになったり、装置自体も安くなってきたりしており、将来的には日常的に使われる理科実験装置になるものと期待される。筆者らは最近になって、サーモグラフィーを導入した理科授業を行っている（中上ほか、2009）が、サーモグラフィーを単元指導計画のなかで位置づけた実践はまだ少ない。

いっぽう、サーモインク（感温変色液）も同様に温度の違いを色調の違いとして視覚化できる指示薬であり、「水の温まり方」など、事象によってはサーモグラフィーよりもその効果が期待できる。こちらも比較的安価な教材が市販されるようになっており、近い将来広く理科授業で活用されるようになるものと期待される。

本研究のねらいは、学習指導要領が改訂されたこの時期に、「基礎的・基本的な知識や技能の習得」や「課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力などの能力の育成」、「学習意欲の向上」などの趣旨から、改めてサーモグラフィーやサーモインクの教材としての価値を検討・吟味し、授業改善するというものである。本稿では、熱現象を視覚化できるサーモグラフィーやサーモインクを活用した理科教材を開発した小中学校での3つの授業実践を報告し、これらを活用した授業の在り方について考察する。

サーモグラフィーを用いた理科教材の開発や授業実践については、中上ほか（2009）、山田・川上（2010）、川上ほか（2010）がある。また、サー

モイックを用いた授業実践には相場・柊原（2009）がある。

2. 教材化の視点

サーモグラフィーを用いた理科教材の開発は、2008年から始めている。2008年には、FLUKE社製のTi20をレンタルして、山田が当時勤務していた美濃市立美濃中学校などで授業実践を行った（授業実践1）。2009年になって「コア・サイエンス・ティーチャー（CST）養成拠点構築事業」の取組としてチノー製のCPA-150を確保し、飛騨市立河合小学校で樹下が授業実践を行った（授業実践2）。

これらの装置では、熱画像データをjpgファイルとして保存できるため、教材開発が容易であり、USBケーブルでパソコンにデータを取り込み、測定後すぐにスクリーンに表示できる。児童・生徒の探究活動の中で、時間的、空間的な温度変化について視覚的にとらえさせることで、より確かな理解を得たり、科学的な思考力や表現力が高まったりすることが期待できる。

ただし、「水の温まり方」など、試験管やビーカーの中に入れた物質を撮影する場合、試験管やビーカーの表面から放射される赤外線をとらえるため、試験管中の水自体の温度変化はとらえにくいという課題もある。その点、サーモイック（ケニス株式会社：1-114-300）は常温で青色、温めると40℃程度でピンク色に変色し、水で希釈することで、水自体の温度変化を容易に視覚的にとらえることが可能である。そこで、サーモイックを活用した「水の温まり方」について、2009年に高山市立東小学校で柊植が授業実践を行った（授業実践3）。

3. 授業実践

(1) 天体の動きと地球の自転・公転 ～地軸の傾きと季節変化～

中学校第3学年「天体の動きと地球の自転・公転」の単元において、サーモグラフィーを活用して授業を行った。この単元では、継続的な観察によって、太陽の見かけの移動経路を透明半球上に記録し、季節によって太陽の南中高度や昼の長さが変化することを学習する。続いて、その原因が

地軸の傾きによるものであり、その結果、気温などの季節の変化が起こることを学習することになる。

その際、生徒は図やモデルを使って考えたり説明したりするが、特に気温の変化が起こる理由について「日射の角度によって単位面積当たりの熱の吸収が変わること」を理解することが必要である。教科書では、光の入射角と温度の関係を調べる活動として、液晶温度計やサーモテープ、光電池での電子オルゴールなどを用いているが、温度の違いについてははっきりと納得のいく結果が得にくいことが課題となっていた。

そこで、事前に授業で扱う実験器具を使って、光源からの光の入射角の違いによる照射体表面の温度をサーモグラフィーで撮影した（図1）。

また、発泡スチロールで作った地球モデルに光を当て、球体における温度分布を測定した。サーモグラフィーで、光源からの光が球体表面に対して鉛直に近い入射角の部分ほど、高温になることが示され、地球表面における温度の季節変化を把握しやすい熱画像が取得できた（図2）。

実際の授業では、学習課題を「季節によって太陽の南中高度や昼の長さが変化するのは、地球がどのように公転しているからなのだろう」と設定し、生徒は、夏から秋にかけて、継続的に野外観察を行ってきた記録をもとにして、モデル実験を行った。日差し、影の長さ、太陽の南中高度の変化が、地軸の傾きと地球の公転運動によってもたらされていることを見出した後、A男が次のような発言をした。

「僕は南中高度が変化すると気温が変化することを考えました。（図3のように懐中電灯で光を当てながら）こうやって南中高度が高いと、地面に光が当たる面積が狭くなって日差しが強くなって、南中高度が低いと面積が広がって日差しが弱くなりました。例えば虫眼鏡で光を集めて面積が狭いと温度が上がるから、やっぱり南中高度が高いと気温が上がるのだと思います。」

その後、A男の発言内容についての理解をより確かなものにするを意図して、教師がサーモグラフィーを用いた熱画像（図1、図2）を提示した。

熱画像が提示されると、生徒からは感嘆の声が

わきおこり、日射の入射角と地軸の傾きによって地球表面の温度が決まることに納得した様子であった。

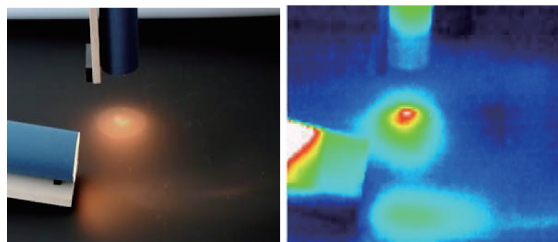


図1. 光源を真上から当てた場合と斜めに当てた場合（左）における温度の違いを示す熱画像（右）。高温部分から漸次的に白→赤→黄→緑→青→黒色で表示されている。

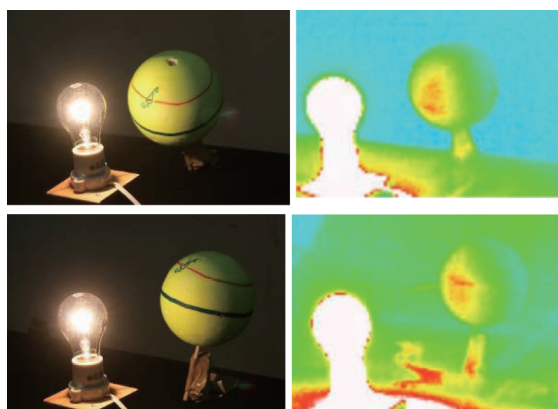


図2. 発泡スチロールで作成した地球モデルでの熱画像（右上が夏、右下が冬のモデル）。夏の日本付近は高温を示す赤色、冬の日本付近はそれよりも低温の黄緑色。どちらも北極・南極に近づくほど低温を示す青色になっている。

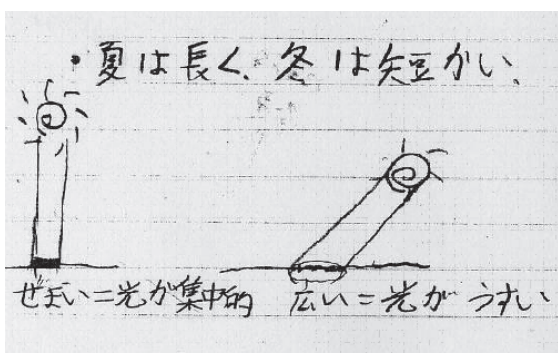


図3. A男が説明に用いた図。

次は、学習を終えたB子のノート記述である。

「地軸が太陽の方に傾くと、太陽との距離が近づくから気温が上がると思っていたけれども、サーモグラフィーの画像を見て、そうではなくて、南中高度が変わって太陽のあたる角度が変わるからだということがよくわかりました。赤道付近の気温が高く、北極・南極の気温が低いことにも納得できました。」B子は、地軸の傾きによる地球の温度分布の変化について、空間的な広がりの中でとらえることで理解を深めており、そこにはサーモグラフィーの熱画像が効果的であったことがわかる。

なお、この画像は、岐阜大学教育学部理科教育講座（地学）のwebサイト「理科教材データベース (<http://chigaku.ed.gifu-u.ac.jp/chigakuhp/html/kyo/index.html>)」に掲載してある。

(2)「太陽と地面の様子」～日なたと日陰～

小学校第3学年「太陽と地面の様子」では、日なたと日陰の地面の温度を測定する際に、サーモグラフィーを活用した。

ここでは、地面は太陽によって暖められ、日なたと日陰では地面の暖かさや湿り気の違いがあることを学習する。その際、児童が手や足で地面に触れるなど体感を通して感じとるようにするとともに、温度計を用いて地面の温度を測定し、比較できるようにするが、体感でとらえるために事実曖昧さがあつたり、それぞれの温度計のデータにばらつきがあつたりするなど、客観的なとらえに課題があつた。特に、本学習に関わる野外での観察は、天候に左右されることが多く、例えば薄曇りで、日なたと日陰の区別が明瞭でないなど、児童がはっきりとした事実を得ることができない場合もあつた。

そこで、児童が野外観察において、手で触れたり温度計で地面の温度を測ったりする活動と併せて、サーモグラフィーで熱画像を撮影する活動を取り入れた。児童には、熱画像で示される色と温度の関係について、具体例を提示して説明したことで、児童はその意味を容易に理解することができた。

実際の授業では、まずは教室で、児童が生活経験などをもとにして「日なたの地面は、太陽の光

が当たっているから暖かくて、陰の地面は、太陽の光が当たっていないから冷たいだろう」という見通しをもち、野外（運動場）へ出て観察を行った。

児童は、サーモグラフィーを使って調べること非常に高い興味・関心を示したが、まずは自分の体感と棒温度計で日なたと日陰の温度を調べることが優先させ、そこで得た事実を確かめる場面でサーモグラフィーを用いることにした。

あいにく、この日は薄曇りであったため、体感や棒温度計では日なたと日陰の温度差をとらえにくい場面もあった。体感と棒温度計を使って朝礼台の下の日陰とそのまわりの日なたの温度を調べたC男は、サーモグラフィーの熱画像（図4の右）を見て、「やっぱり、（朝礼台の下は）日陰になっているから、温度が低い」とつぶやき、自分のつかんだ認識を更に確かなものにしていった。

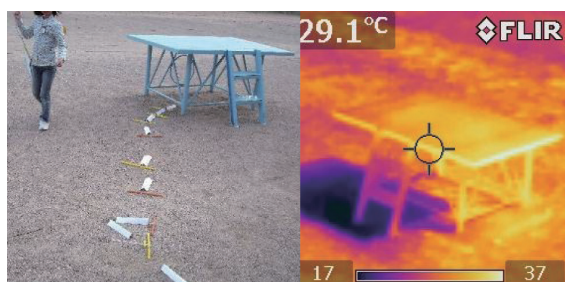


図4. 朝礼台の日陰の部分が低温の青色を示している（右）。

その後、C男は、仲間と協力して棒温度計を朝礼台の日陰から日なたまで何本も並べ、地面の温度を調べ始めた（図4の左）。この姿から、児童が空間的な広がりでも、日なたと日陰をとらえて、追究しようとしていることがわかる。

いっぽう、D子は、これまでの観察で得られた「日陰は太陽の光が当たっていないから、温度が低い」という見方や考え方をもとにして、運動場に置いてあったタイヤを移動させ、太陽の光が当たっていなかった部分の温度について、体感と棒温度計、サーモグラフィーを使って調べようとしていた。タイヤを移動させると、タイヤが置いてあった部分だけが、くっきりと低温を示す青色になっており、時間の経過と共に徐々に温度が上がっていく様子を読み取ることができた（図5）。

太陽の光が当たった地面の時間的な温度変化をとらえることができたD子は大変満足していた。

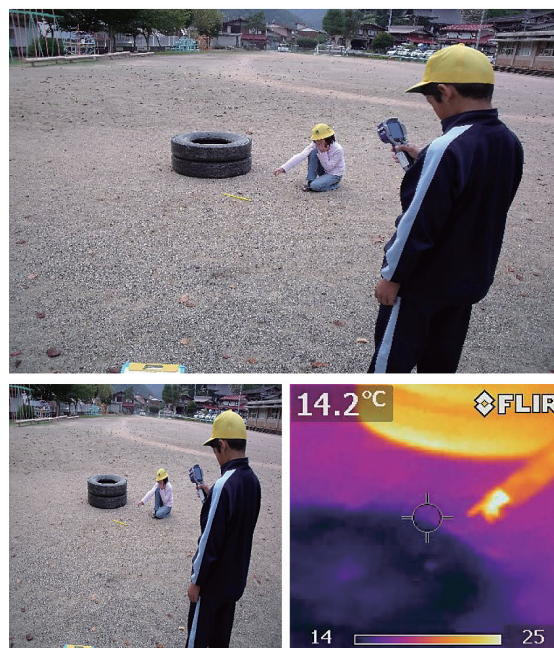


図5. タイヤを移動させた部分の温度変化を調べるD子（上）と熱画像（右下）。

(3) 「金属、水、空気と温度」～水の温まり方～

小学校第4学年「金属、水、空気と温度」では、水の温まり方を調べる際に、サーモインクを活用した。

ここでは、金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まることを学習する。その際、児童は、金属の温まり方と比較して、「水は熱した部分の上の方は温まるが、下の方は温まらない」という確かな事実を得ることが必要となる。

従来は、試験管に入れた水を熱して、上方と下方の部分を指で触ってその温まり方の違いについて体感でとらえる実験が行われていた。教科書では、棒状のサーモテープを試験管の中に入れ、その色の変化を視覚的にとらえる実験も紹介されているが、いずれも事実曖昧さがあつたり、間接的な事実認識であつたりするため、児童に確かな事実をとらえさせるには不十分であつた。また、前述のように、サーモグラフィーを用いた場合でも、試験管の中の水自体の温度を正確にとらえる

ことができないという課題があった。そこで、サーモインクで着色した水を試験管に入れて、熱した部分から上方と下方の水の色の変化を視覚的にとらえる活動を取り入れることを試みた。

ケニス株式会社から販売されている「サーモインク1-114-300」(240ml, ¥3,500)は、通常25倍に希釈して使用すると、水が熱せられた部分から上がっていく様子が色の変化としてよくわかる。その一方で、児童にとっては、かえって水の複雑な動きをとらえることにもなると判断し、本実践では、通常よりも薄い150倍希釈程度にして使用し、「水は熱した部分の上の方から温まる」という事実を確実にとらえさせることを意図した。



図6. 水300ccにサーモインク2cc(約150倍希釈)で着色。

授業では、学習課題を「(試験管の真ん中を熱すると)水はどのように温まっていくのだろうか」と設定した。児童は既習の金属の温まり方をもとにして「熱した部分から上下に同じように温まっていく」という考え方と、生活体験をもとにして「上の方から温まる」という2つの考え方をもち(図7)、実験の見通しをもった。

その際、児童には、サーモインクの色と温度の関係について、具体例を提示して説明したことで、児童はその意味を容易に理解することができた。なお、本実験では、水が8分目まで入った試験管の中央部を熱するため、沸騰石の代わりにガラス細工で作成した「沸騰棒」(図8)を用いたうえで、安全指導に留意した。

児童が試験管を熱する際には、児童が正確に試験管の中央部を熱することができるために、試験管中央部に加熱部を示す×印をつけたり、色の違

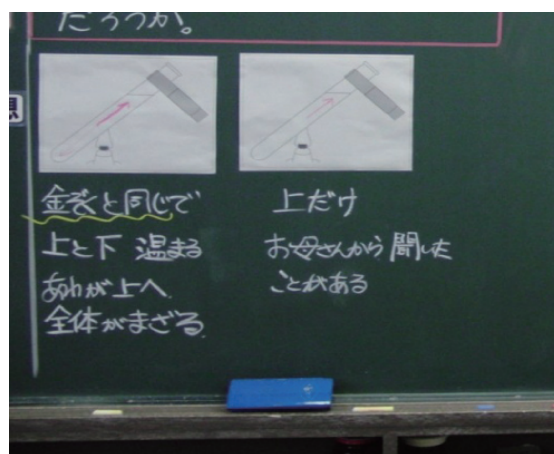


図7. 水の入った試験管の真ん中を熱すると?.

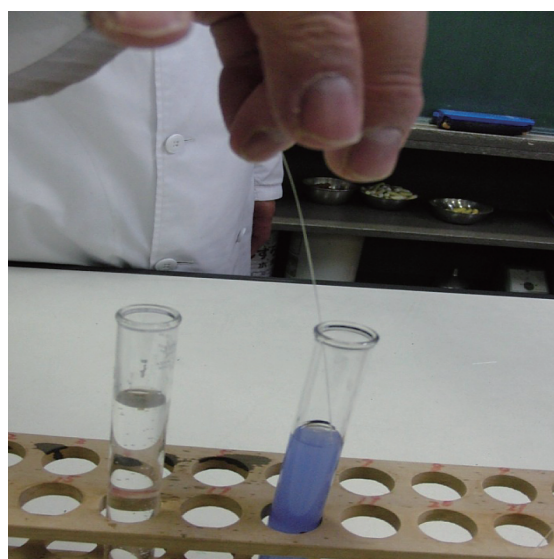


図8. 沸騰石の代わりに「沸騰棒」を用いる。

いが明瞭に現れやすくするために、加熱時間を30秒間と統一して設定したりするなどの工夫をした(図9)。

30秒間程度加熱すると、当初は低温を示す青色であった水は、水面付近から高温を示すピンク色に変色しそれが徐々に下方に広がっていくが、下半分は青色のままであるなど、その違いが明瞭に現れた。児童たちからは、事実を明らかにとらえたことを喜ぶ声がわきおこった。E男は、指で試験管の上方と下方を触って温度の違いを確かめ、「指でさわっても、やっぱり上の方だけが温まっている」とつぶやいていた(図10)。

実験後の意見交流では、E男らが「上の方はピ

ンク色で温かいし、下の方は青色で冷たかったです。上の方からピンク色に変わったという結果から、水は上から温まっていくことがわかりました」などと、従来の体感と併せてサーモインクの色から事実をとらえることができた発言があり、より科学的な探究へと質的な高まりがみられたことがわかる。また、F男の「ピンク色がもやもやっと上の方に変わっていった」という発言から、次時に「水はなぜ上の方から温まるのか」を探究しようとする意識を連続化することができた。次時は、味噌を使って加熱部周辺の水が上昇する様子を観察することで、「水は熱せられた部分が移動して全体が温まること」を学習する指導計画となっている。

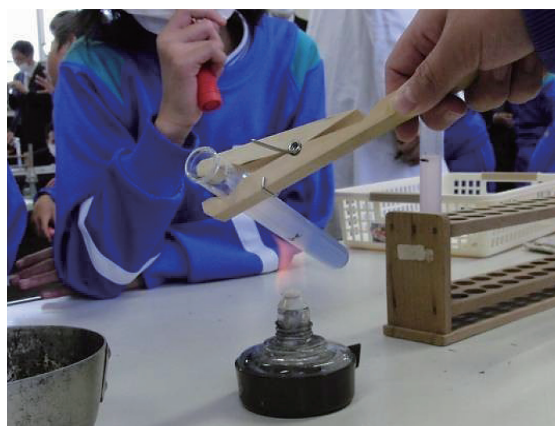


図9. 試験管の中央部を熱すると、上方は高温を示すピンク色、下方は低温を示す青色と視覚的に温度の違いを明瞭にとらえることができる。



図10. サーモインクの色から判断した温度の違いを指で触って確かめるE男。

4. 議論

(1) サーモグラフィーの有効な使い方

サーモグラフィーやサーモインクは、直接目で見ることができない温度分布を空間的にも時間的にも視覚的にとらえることができ、児童・生徒が現象を理解するうえで大変すぐれた装置である。視覚的にわかりやすいことはメリットであるが、ただ見せるのではなく、単元の組み立てのなかで児童・生徒の探究活動の一手段としての使い方や、個別の事実を総合化する場面で活用することでより大きな効果が挙げられる。美濃中学校の「天体の動きと地球の自転・公転」の単元における実践では、生徒たちが太陽高度、日差しの強さ、生物の移り変わり、気温といった現象を継続的に調べてきた。こうした事実を「地軸の傾きと地球の公転運動」と結びつける学習場面で、光の入射角と温度の関係や、球形をした地球モデルにおける温度分布をとらえる手段としてサーモグラフィーの熱画像を活用したことで、生徒は自然を総合的に理解でき、実感をともなった学習へと結実させることができた。これは、サーモグラフィーの画像が、生徒にとって、モデル思考の手助けとなったことが大きな要因であったと考えられる。

河合小学校3年の「日なたと日陰」の実践においても、五感や温度計を使った実験結果を確認する段階でサーモグラフィーを用いることで、児童の追究がさらに広がった。サーモグラフィーは、わずかな温度の違いも検出できるので、温度差が小さい場合でも現象をしっかりとらえることができる。これは温度分布を画像データとして取得できることと、温度測定の精度が1℃以下であることが反映しており、サーモグラフィーの測定精度の高さが、児童に確かな事実に基づく考察を促していることが示唆される。さらに、サーモグラフィーを使って調べたことがきっかけになって、温度計を用いた測定においても空間変化を意識的に調べようとする態度が生まれたことは、当初予想していなかった成果であった。

(2) サーモインクの有効な使い方

サーモインクを用いた実験は、固体表面の温度計測をするサーモグラフィーでは表現しにくい流体の動きや温まり方を調べるのに適している。

サーモインクは温度が高くなると青色からピンク色へと変色するため、東小学校4年の「水の温まり方」の実践においても、温まり方に関して確かな事実をつかませるのに適していることが検証された。

相場・柘原(2009)は、水の温まり方に関する児童・生徒の誤った認識の実態を分析したうえで、サーモインクとおがくずを用いた実験を行って、サーモインクの有効性を示している。おがくずでは上昇運動と下降運動の両方がみられ、「水は流体の回転運動によって温まる」という誤った考えに陥る可能性が残る。このことから相場・柘原(2009)は、小学生4年生段階で両方をみせると混乱して誤った概念をもつ可能性があることから、上昇運動だけをみせるのがよいと結論づけている。本研究の東小学校の実践では、上昇ブルームの発達するようすをとらえにくい試験管を用いたり、サーモインクを薄くしたりして実験を行っており、本時には、対流現象までは踏み込まず、「水は上から温まる」という結論および「水はなぜ上から温まるのだろうか」という疑問を導くことができた。次時に味噌を使って、上昇運動を観察する指導計画であったが、本単元では「水は上から徐々に温まる」という事実の確認にとどまるのが適切かについては意見が分かれるかもしれない。

(3) 「エネルギー」概念を柱にした系統的なサーモグラフィーの活用

本研究は、サーモグラフィーやサーモインクを活用した授業実践を学年を超えて行ってきた。これらの教材・教具は、それぞれの単元において、観察、実験において確かな事実を得たり、現象の空間的、時間的変化を読み取ったりする方策、個々の事象を関係づけて自然現象を総合的に理解するうえで有効であった。サーモグラフィーの活用の場面は、「光の当て方と明るさや暖かさ」、「電気による発熱」はもとより、粒子のもつエネルギーとして、「状態変化と熱」、「化学変化と熱」など、まだまだ有効に活用する場面が多くある(川上ほか, 2010)。このように「エネルギー」を柱にして小中学校の理科授業を体系化し、系統だってサーモグラフィーを活用することで、児童・生徒

の科学に関する基本的概念の一層の定着を図り、さらには科学的に探究する能力や態度、科学的な思考力や表現力、総合的なものの見方の育成につながるに違いない。今後より多くの実践を積み重ね、その有効性を児童・生徒の学習成果で評価していくことが課題である。

5. おわりに

2008年度から始めた理科授業におけるサーモグラフィーの活用も、(株)チノー製サーモグラフィー CPA-150を確保できたことにより、単元指導計画のなかで位置づけた活用ができるようになった。本稿では、2008年度および2009年度に新たに実践した3つの授業における活用事例を報告した。2010年度には、サーモグラフィー CPA-150の台数をさらに増やす計画であり、岐阜県内の小中学校で、日常的な活用へとつながるものと期待される。本研究は、有効な活用事例として、多くの教員の方々の参考になればと願っている。

謝辞. サーモグラフィー CPA-150は、岐阜大学・岐阜県教育委員会が事業委託を受けたコア・サイエンス・ティーチャー(CST)養成事業における中級コースプログラム用実験教材として確保されたものである。また、河合小学校の授業実践は、飛騨地区パイオニア研修小学校理科部会において、東小学校の授業実践は高山市教育研究会小学校理科部会において、研究討議されたものである。ここに記して、関係の皆様へ感謝申し上げます。

引用文献

- 相場博明・柘原礼士(2009) 小学4年「水のあたたまり方」における誤概念と「サーモインク」教材の有効性, 理科教育学研究, 49, 1-11.
- 川上紳一・山田茂樹・酒井茂(2010) 小中学校の理科授業におけるサーモグラフィーの活用と「理科教材データベース」の開発—現状と今後の課題, 岐阜大学教育学部研究報告(自然科学), 34, 49-52
- 中上和奈, 山田茂樹, 川上紳一, 岩田陽介(2009): サーモグラフィーを用いた理科教材開発と中学

校における授業での活用研究, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **33**, 59-63.

樹下安雄 (2010) : サーモグラフィーを活用した理科教材の開発とその授業実践, 東洋館出版社『理科の教育 No.690』 p34-36.

山田茂樹 (2009) : 「パターン把握」を用いた野外観察で, 科学的な思考力, 表現力を育成する指導~中学校理科「地球と宇宙」での一実践を通して~, 日本科学教育学会研究会研究報告 科教研報, **23**, No.5, p59-62.