

Web カメラによるインターバル撮影を利用した 映像観察システムの教材化 —中学校理科「地上からの雲の観察」に関する授業実践を通して—

名 越 利 幸*

(2009年12月9日受理)

1. はじめに

北原 (2008) は、日本学術会議が行った「科学技術の智プロジェクト」の総合報告書の中で、日本人が身に付けるべき科学・数学・技術に関わる知識・技能・考え方を示した。また、近代以降の科学技術における共通の考え方を6つ示し、その一つとして、科学技術を記述する方法として、数式、言語に加えグラフィック技術の発達による「可視化」の重要性を示した。今後、理科教育においても可視化に関する教材開発が望まれる。

気象現象において、「雲」は、唯一、水滴・氷晶により可視化され我々の目に見える。この雲の観察では、これまで地上からの目視による観測が行われ、10種雲形に分類し、雲形ごとに雲量を決定してきた。一方、情報機器の進歩に伴い、ライブカメラなどによる定点観測の手法が定着し、HP 上で、各地の空の様子をリアルタイムで観察することができるようになった(中川ほか2004)。それらライブカメラ映像の比較から、冬の北西季節風が一般風に比べ卓越したとき、日本海側と太平洋側のフェーン現象の対比された様子を観察することも可能になった。また、人工衛星「ひまわり」からの雲画像を利用した雲に関する観察教材も多く開発されている(浦野ほか,1983;三崎ほか,1996)。

しかし、地上からの雲の動きそのものに着目した教材は、発生原因が明確で観察領域も限られる富士山の傘雲の例などをのぞき、事例がない。その理由は、①雲の動きが非常にゆっくりしているために目視でその動きを捉えにくい点、②雲が発生・消滅を繰り返すことで、その構造を確認しにくい点、③発生原因の異なる各層の雲が混在して変化していることから雲の空間的広がりを認識しにくい点、などである。これらの要因が複雑に絡みあって、雲の動き自体の生徒理解を困難にしている。

そこで、雲が時々刻々変化する様子を Web カメラにより画像情報として PC に取り込み、その複数の画像ファイルをビューワソフトにより早回しで再生する簡易インターバル撮影システムを開発し、中学校での気象教育に活用することを本研究の目的とした。そのシステム構成は、Web カメラとパソコン、画像取り込み及び画像表示ソフトからなる既製品の組み合わせで、安価にしかも簡単に構築可能なものとした。さらに、本システムで取得した雲画像データを用

* 岩手大学教育学部理科教育科

い、中学校3年生を対象にした理科の研究授業を行った。

2. 理科における教材・教具開発と気象学習の特殊性

井出（1988）は、理科教育における理科教材・教具の定義を「教師が教育目標を達成するために、自然の事物・現象の中から適当と思うものを選択し、これを指導に適するよう構成した情報的内容を教材、教育に必要な物質的資料を教具」と示した。さらに、理科における教材・教具研究の視点を以下のようにまとめた。

（1）教材研究の視点

- ①自然科学の基本概念とのつながりはどうか。
- ②科学の方法とのつながりはどうか。
- ③教師自身、教材の内容が理解できているか。
- ④教材の内容や実験に無理や誤りはないか。
- ⑤指導目標を達成させるために、教材の内容や配列が適切であるか。
- ⑥児童・生徒の発達段階に合っているか。
- ⑦児童・生徒の思考の流れに沿っているか。

（2）教具研究の視点

- ①教具は、構造が簡単で分かり易いものであるか。
- ②児童・生徒が使用する教具は、使い易く丈夫であるか。
- ③経費ができるだけかからないものであるか。
- ④一般に入手しにくい特殊な材料を使用していないか。
- ⑤あまりに多目的なもの、特殊な目的のみ利用できるものになっていないか。
- ⑥演示用の教具は、大型にして見易くなっているか。
- ⑦定量的な実験に使用するものは、必要な精度を考えられているか。

（3）気象の学習における教材・教具開発の特殊性

これらの視点に基づき教材開発を行う上で、筆者は気象の学習において他の理科の領域と次の3点が異なると主張した（名越：1996）。

- 1) 気象現象は、大きなスケールの現象と小さなスケールの現象が同時進行で生じており、それぞれの現象の支配方程式が異なる点。
- 2) 気象現象は時々刻々変化しているため、物理や化学と異なり、現象そのものの再現性が乏しい点。
- 3) 大気は雲などを除き、一般に目に見えないため、現象のイメージが捉えにくい点。

地上からの雲の観察には、次のような教材開発上、解決すべき課題がある。上層の雲は大気大循環スケールの気象現象により生じ、下層の雲は大気境界層スケールの地形に起因して発生している。これらスケールの異なる雲が同時進行で発生・消滅・移動しているために、観察を

より複雑なものにしている。また、雲は時々刻々変化しているために、現象そのものの再現性がない。このように、地上からの雲の動きを目的とした観察教材の開発は、雲が水滴・氷晶によって可視化され現象のイメージを捉えやすいものの、捉えた現象が何に起因しているのか解釈することが難しい。その結果、これまで教材開発は行われて来なかった。そこで、インターバル撮影（同意義に使用されている言葉に「タイムラプス（Time-Lapse）」があるが、本稿では「インターバル撮影」に統一した。）により雲を画像として保存し、それを早回しで再生することで、雲の動きそのものの観察を可能にすることを考えた。

3. インターバル撮影の各種方法と問題点

従来8ミリまたは16ミリ映画フィルムカメラでインターバル撮影し、現像したものを標準スピードで再生する手法があった。だが、これらは現像に時間と費用を要し、フィルムの再生に手間を要し保管も難しかった。その後、アナログ・デジタルのビデオカメラの登場により、インターバル撮影は容易になったが、数時間も撮ればテープやメモリーの交換が必要になる難点があった。さらに、デジタルカメラの性能向上にともない、インターバル撮影機能は普及したが、撮影のたびに画像をパソコンに転送する手間がかかることや、画像データが重すぎて動画再生がなめらかにならない難点があった。何よりカメラ自体が高価なことが教育利用の障害となっている。以下に、ビデオカメラとデジタルカメラによるインターバル撮影の具体的問題点を挙げる。

(1) ビデオカメラによるインターバル撮影の問題点

従来、8ミリアナログビデオカメラの頃より、一部のメーカーではインターバル撮影で画像を記録し、再生するシステムを持つものがあった。最近の(株)SONY製ハイビジョンデジタルビデオカメラにも、同様のシステムが搭載されている、これは、1分おきにメモリー上に、400万画素のJEPG画像を記録していくものである。最短の時間間隔は、1分である。画像そのものは十分であるが、撮影間隔が秒単位で設定できない点、メモリー上への記録のため一回ごとにメモリーからデータをPCに移さなければならない。

(2) デジタルカメラによるインターバル撮影の問題点

2009年現在、上級用一眼レフデジタルカメラには、自動コマ撮り機能が搭載されており、最低撮影間隔5秒のものがほとんどである。コンパクトカメラでインターバル撮影機構を持つものは、(株)キャノン製の数機種と(株)リコー製の数機種しかなく、ともに高価な上位機種である。これらを、理科備品として購入することは、公立学校の予算上かなり厳しい状況にある。また、録画する場合、メモリー上への記録なので、一回ごとにメモリーからデータをPCに移さなければならない難点もあり、教師が日常の勤務をしながら撮影するには大きな負担となる。

これらの課題を解決するための手法として、Webカメラを用いたインターバル撮影による観測システムを考案した。

4. 画像記録・再生システムの開発

井出（1988）による教具開発の視点を考慮し、かつ、筆者が提唱する気象の学習における教具開発の留意点3点を考慮し、可能な限り安価に、既存の機材やソフトを利用してシステムを構築することを考えた。システムの全体構成を図1に示す。その構成は、ハードウェアとしての30万画素 Web カメラ（商品名 QcamOrbit, 型番 QVR - 1, (株)Logicool 社製）、USB 端子を持つ DOS/V の PC (OS WindowsXP)、ソフトウェアとして、雲画像取り込みのためのソフト（ソフト名：List Cam）と雲画像を再生するソフト（ソフト名：Irfan View32日本語版）の2本（いずれもフリーソフト）からなる。



図1 職員室南側に設置した観察システム全体構成
(職員室南側窓際の棚に置いたPCとWebカメラ)

以下に、システム構成と、それらの機能とを詳述する。

(1) システムの構成と機能

Web カメラで取り込んだ画像情報は、ハードディスク上に、日時をファイル名として保存される。長時間保存された雲の画像ファイル群を、ビューソフトで短時間のうちに再生することにより、生徒による雲の観察を可能にできる。このシステムは、大きく画像情報記録の部分とその再生の部分に分けられる。必要な機器は、PCを除けば、Webカメラのみで、最近の価格は一万円を切り安価に購入可能となった。将来、さらに性能の向上と低価格化が進むと予想される。

(2) 雲画像情報取り込みからハードディスクへの記録

1) インターバル撮影用 Web カメラ

カメラには、視野角が広く、PC側からリモートコントロール可能で、パン&チルト機構 USB 接続が可能な30万画素 Web カメラを使用した（図1）。同梱されているスタンドを使用すると32cmまで背を高くすることができる。また、視野角は左右約180° 上下90° であり、縦方向60° 横方向120° のパン・チルト機能を有し、上下、左右の動作はPC

側から操作できる。視野角の広さ、設置時の安定感、USB ケーブルのみで接続が可能、PC からのリモートコントロールができ、画素数が少ない割に解像度が良いこと等から、本機（商品名 QcamOrbit、型番 QVR - 1）を選定した。

2) [List Cam] によるハードディスクへの自動記録

石川肇作フリー定点観測画像記録発信システム List Cam ver.2.09e (http://www.clavis.ne.jp/~listcam/index_j.ssi) を利用して、毎日 8 時30分から16時30分の間、1分ごとに、PC のハードディスク上に画像情報 (JPEG) を自動的に記録する。本ソフトを選定した理由は、自動録画設定 (開始・終了予約) が可能なこと、インターバル撮影間隔が最小 1 秒から秒単位の間隔で設定ができ、さらに、動作が安定している点等である。今回、インターバル撮影間隔を、1秒、5秒、30秒、60秒とし、画像取得を試みた結果、60秒でも雲画像の連続性が失われることなく再生されたので、以後、60秒間隔の画像を取得した。

(3) [Irfan View 32日本語版] による動画再生

Irfan View 32日本語版 ver.4.23 (<http://www8.plala.or.jp/kusutaku/iview/>) は、Irfan Skiljan 作高速画像表示・形式変換ソフトの日本語 DLL (Dynamic Link Library) である。少ないシステムリソースで、高速な画像表示ができる。本研究では、これをスライドショーモードで使用した。スライドショー画面 (図2) 左上の「詳細設定」ウインドウの「自動スライド」の時間間隔設定を変えることにより、再生スピードを制御できる。また、右クリックで一画面ずつ再生することも可能である。雲画像が保存されているハードディスク中のフォルダーを開いて全てのファイルを選択、追加とすると画像が取り込まれ、実行ボタンをクリックすることでスライドショーが開始される。その結果、表示画面上で動画として雲を観察することができる。また、他の市販ソフト (株 SONY 製のピクチャーギアーなど) や類似のフリーソフトを利用すれば、アニメーション GIF の動画ファイルとして保存することもできる。



図2 Irfan View に雲画像ファイルを取り込んだ画面

図3 (a) に、ビューワ再生時の様子を示す。画面の画像が30万画素の画像となる。画像

の下部に示された文字は、List Cam によって記入された日時とコメント（筆者が観測点名を記載した。）である。今回の研究では、保存された画像は1日当たり約480画像（1回/分×60分×8時間）になる。その一部を図3（b）に示す。1分ごとの画像ファイルから雲の動きが理解できる様子が分かる。これを、当該ビューワソフトで再生間隔0.1秒で再生すると、1日の雲の様子を約1分で観察することができる。また、再生時間の間隔を変えることで、再生速度を制御することができる。また、再生中でも、Pause キーで停止し、Enter キーで再生の各操作が可能である。Esc キーで終了する。



(a) Irfan View で取り込んだ画像を再生した際の画面（30万画素画像）



(b) List Cam で取り込んだ JPEG 画像の一部

図3 インターバル撮影でハードディスクに取り込んだ画像と再生時の様子

5. インターバル撮影による地上からの雲の観察

4章で提示したシステムを、筆者が勤務していた町田市立O中学校職員室の窓際に設置し、南側の空を観察した。期間は、2006年8月1日から、約6ヶ月間、原則週5日、8時30分～16時30分の間、1分間隔で画像をJPEGファイルとして自動的に取り込み地上からの雲の観察を

行った。町田市立O中学校の位置を図4に示す。東西に伸びる多摩丘陵の南端斜面の上端に位置し、南は相模平野・相模湾、北は多摩丘陵、西に丹沢山系、東に東京湾・羽田空港がある。校舎は東西に伸び、職員室の窓は、真南に向いている。

南側の空の観察で、秋分の日を経過すると、太陽高度が下がり、どうしても太陽が画面上に現れてしまう。デジタルビデオカメラには、センサーを保護するためにインターバル撮影を自動停止する機能がある。ここで使用したWebカメラは、その様な機能はないが約半年間問題なく画像を取得し続けた。しかし、取得した画像を再生すると太陽がとても煩わしく感じる点に課題もある。カメラを向ける方向を、北や東にとることで解消する可能性がある。

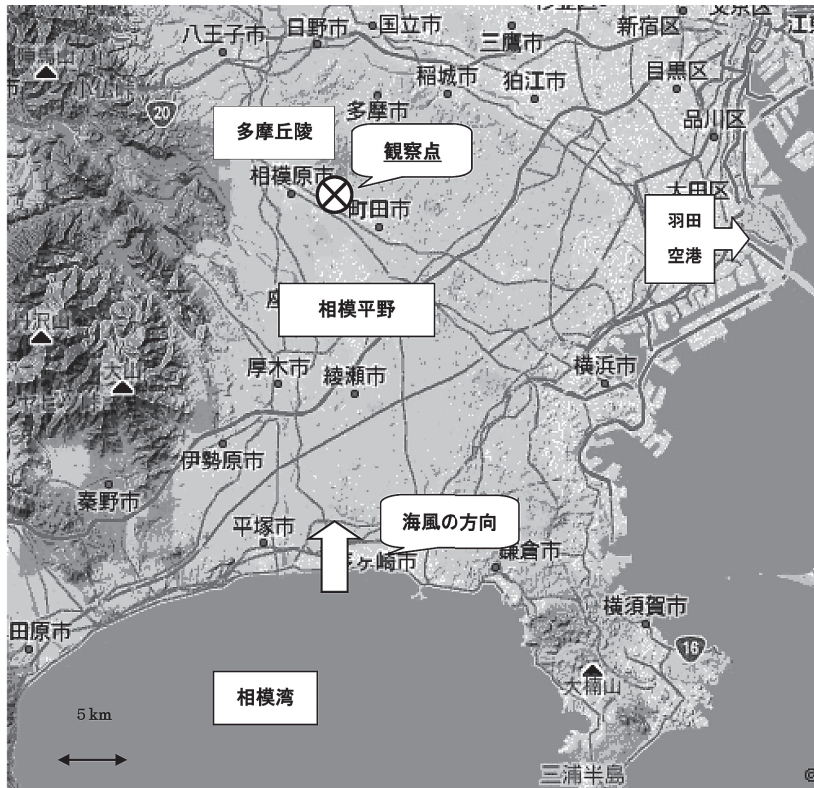


図4 相模湾沿岸地の地形と観察点
(北緯35度35分15秒，東経139度24分14秒)

6. 記録画像から観察された局地的な雲

(1) 地形性の雲の発生

多摩丘陵南斜面の上空の同じ位置に、積雲が次々に発生する様子が明らかになった。これは、図3によっても理解できる。図4に示したように町田市立O中学校は、相模湾に接する海岸線から北に約30km、東西に広がる多摩丘陵の南端斜面に位置する。この丘陵と平野部の最も落差があるところで、標高差約70mほどである。夏期、地上湿度50～70%の晴天時、11時半頃に積雲が発生した。この時間帯は、浅井・藤部(1983)が「相模湾沿

岸域における海陸風系と大気汚染物質の立体分布及びそれらの日変化」の共同観測から求めた町田市における海風進入時の時刻（11時～12時）と一致する。海陸風では、進入する海風の前面に、前線性の上昇気流による積雲ができることが知られている。この同じ位置にできる積雲は、その前線性上昇気流に、多摩丘陵による地形性上昇気流が重なり、発生したと考えられる。

また、台風や前線の影響などで、南風が侵入したときにも同じく発生することから、地形性の上昇気流のみでも起こるものと推測される。この雲を科学部の生徒達と話し合い、多摩丘陵南端丘陵斜面に沿って発生するので「多摩丘陵雲」と名付けた。同様に、地形性の雲で代表的なものに、環状8号線に沿ってできる環八雲が有名である（糸賀ほか：1998）。

(2) 飛行機雲の群れが発達した薄曇り

上空の雲に着目すると、早朝には快晴だった空が、飛行機雲の発達により飛行機雲から薄曇りに変化する様子が明らかになった。国土交通省航空管制課によれば、2006年8月現在、上空約5500m、町田市及び相模原市上空を羽田空港発の旅客機が、早朝から1日約200機東から西に一方通行で飛行している。また、成田空港発中国方面行きが約9000m上空を早朝39機北東から南西に向けて飛行していることが判明した。特に、8時から9時の間は、5分に1便飛行していることがわかった。天気図から判断して、町田市・相模原市上空が高気圧の後面に入ったときなどに、エアロゾルによる凝結核の供給と翼の表面における高速



(a) 9時、南西側の空の様子
※中央付近白い直線が通過直後の飛行機雲
(b) 快晴時の南側空の様子



(c) (a)の30分後、南西側の空の様子 ... (d) (c)と同時刻の北東側の空の様子

図5 飛行機雲の時間変化

(2006年11月17日、町田市及び相模原市上空、関東地方は寒冷前線通過後、高気圧の前面に位置する)

気流による圧力低下に起因する飛行機雲が発達・成長し、薄曇りになるという事実を発見した(AMS,Glossary:2000)。また、飛行機雲そのものについても研究が行われている(Scorer.RS. and L.J.Davenport:1970)。森田(2007)は、TBS ラジオ放送の全国番組の中で、この現象を「飛行機曇り」と命名し、氏のブログ・著書の中でも紹介している。2006年11月18日に、町田市立O中学校4階の屋上から、(株)リコー製のコンパクトデジタルカメラ「カプリオ R4 (400万画素)」で撮影した様子を図5に示す。明らかに飛行機雲の発達により南側の空が巻層雲で覆われていく様子が見える。

このような飛行機雲が巻層雲に変化する事実は、Minnis et al (2003) によってアメリカにおいてすでに検証されている。ここでは、日本でも、町田市・相模原市上空で同様の現象が発生し、かつ、南の空を覆うまでに発達する事実を発見した。これら2つの観察された気象現象は、中村(2007)によって雲に関する観測的研究として紹介された。

7. 動画による雲の観察の教材化と授業実践

このシステムで保存した雲の画像から、典型的な天候パターンを8例抽出し、2006年11月29日に、校内研修の一環として、筆者が理科の研究授業を行った。この際、雲画像を通常の理科の授業で利用するために以下の3点に留意した。

- 1) 一人一人の生徒が操作できるコンピュータ環境を構築すること。
- 2) 画像を動画再生する際、生徒自身はそのスピードを制御できること。
- 3) 複数の日を観察し、その中から発見学習することができること。

そこで、教材化にあたり、パソコン室の生徒用40台のウィンドウズXPパソコンが教師用メインサーバを中心にネットワークされた環境下で実施できるようにした。この環境は文部科学省の標準的仕様にあたる。メインサーバに、「Irfan View32日本語版」のソフトと取りためた画像記録の中から代表的な8日分の雲データファイルを保存し、各パソコンからアクセスできるようにした。8例とした理由は、各子機からのサーバーへの負荷などを考えたことによる。その結果、前述の留意点で述べたように各生徒が表示間隔を自分で制御し、何種類かの雲の動きを閲覧することが可能となった。これまで保存した画像ファイルから、多摩丘陵雲が発生した2日分、接近した台風の通過日、移動性低気圧に伴う寒冷前線通過2日分、飛行機雲の発生した2日分、移動性高気圧に覆われた日、の8日分を抽出した。

(1) 研究授業の実施

天気の変化「雲の観察」というタイトルで、2006年11月29日に3年生対象に研究授業を行った。また、旧独立行政法人メディア教育開発センターに依頼された「ICTを活用した指導の効果に関する調査」も兼ねて実施した。従って、アンケートの項目が必ずしも的確な教材の評価をねらったものになっていない。そこで、教材の評価に関連すると思われる項目を抽出し検討した。また、授業中の話し合いの結果、アンケートの自由記述欄の記載事項なども検討した。

テーマは「Web カメラを用いた動画ファイルによる雲の観察」とし、評価の観点は、①

Web カメラから動画を作成するシステムを理解できる, ②動画再生ソフトを用いて積極的に映像情報を観察できる, ③動画再生と2つの基本実験の結果を結びつけて理解できる, の3点とした。授業履修生徒は男子15名, 女子16名の計31名である。特設授業のため, 事前学習の内容に関しても, 授業中に再度既習事項の復習を行っている。その内容とは, 雲発生メカニズム, 断熱膨張・圧縮による雲の発生・消滅, 上昇気流と雲の発生機構に関する内容である。その中で, 凝結核による雲の発生実験「シャボン半球」(名越・木村, 1994)は, 演示実験として行った。その後, 個々にコンピュータによる雲の再生画像を見る観察を行い, 話し合いをへて, アンケート調査を行うという流れである。

(2) 学習の成果

事後アンケートを, 旧メディア教育開発センター作成の実証授業アンケート用紙(中学校理科)により31名の生徒に実施した。アンケートの回答は, 大変, 少し, あまり, まったくの4段階である。その結果を図6に示す。今日の授業に関する16項目に関して, 大変・少しを合わせると, 「楽しかった」が約90%と最も比率が高く, 「もっと調べてみたい」「集中して取りくんだ」が約80%と, 雲画像の観察そのものは, 生徒達に興味・関心を抱かせた。授業の内容に関する項目では, 「正しく理解できた」「内容が良くわかった」がともに80%を越えており, 学習内容の理解は, ある程度達成された。また, コンピュータを一人に1台で観察をさせた効果が「自分のペースでできた」の約80%を越える値に繋がっている。

一方, 自分で課題を考えたりする項目は, 約40%と低い。そこで, 「授業の満足度」を目的変数, 各内容を説明変数としてCS分析(菅, 2007; 柳井, 2008)にかけた結果が図7である。横軸が重要度(単相関係数), 縦軸が満足度(良

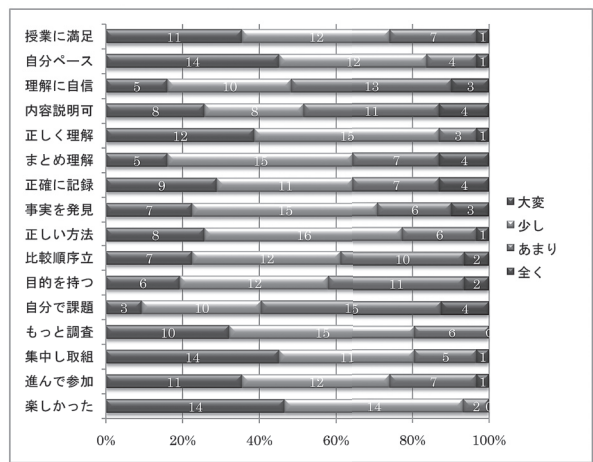


図6 各説明変数に関する満足率 (N=31)

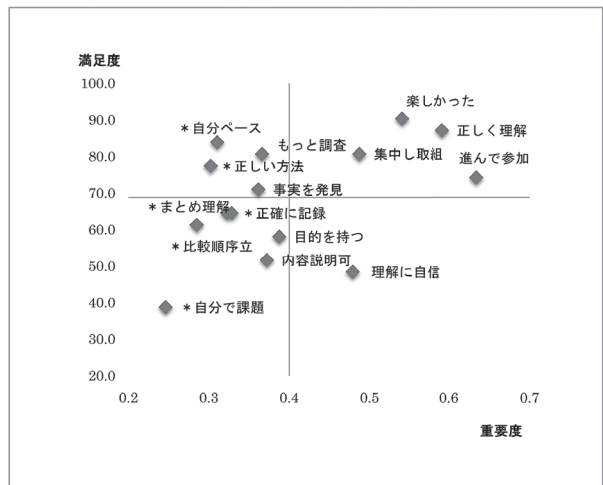


図7 CS (Customer Satisfaction) グラフ

* : 両側確率で $P < 0.05$ となる有意性を示す相関係数の最小値以下

いの割合%)である。さらに、目的変数に対する改善度を図8に示す。改善度が最も高い項目として、「授業の理解に自信がある」という項目が挙げられる。上述のように授業内容をその場だけの理解ではなく、内容を定着させ生徒が自信を持って理解したと言えるようにするかという課題も明確になった。2番目の項目「授業に進んで参加した」も、より生徒が積極的に作業に取り組めるよう工夫する必要があることを示唆している。

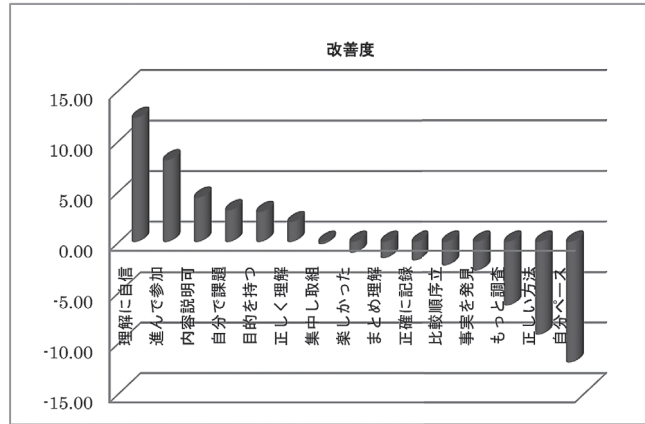


図8 各説明変数に対する改善度
※負の値：改善の必要なしを意味する

さらに、自由記述欄の回答を見ると、概ね以下の内容が理解できたと考えられる。

- 雲の発生・消滅の様子
- 上空の雲と下層の雲が異なる動きをしている様子
- 地形性の上昇気流による雲の発生
- 飛行機雲の群の発達

また、生徒達の話し合いや自由記述欄の記載から、

- 雲の動きを動画再生することで、雲自身が様々な変化をしていることをはじめて知ることができた。
- 人工衛星からも同じ雲が捕らえられているはずなので、上空からと地上から比較してみたい。
- こんな私たちの身近に「多摩丘陵雲」のような地形性の雲があるなんて知らなかった。
- 「飛行機曇り」は、環境に良いか悪いか大変興味を持った。

等の意見があった。

今後、生徒自ら探究のテーマを考えるスキルを如何に身に付けさせるかという課題も残った。しかし、これら事例解析の結果から、本教材は“雲の動き”をとらえる教材として、少なくとも生徒達の興味・関心を目覚めさせたという意味で有効であったと判断した。

7. まとめ

このシステムは、ハード面では Web カメラと PC と、いたって単純である。ソフト面でも 2 つのソフトを使用しているが、いずれもフリーの秀逸なソフトである。これらシステムで、自動取り込み、自動再生を可能にした。特に、早回しの再生により、時間を短縮して観察することができるし、そのスピードもソフト側である程度制御できる。この様なシステムの構築が可能になったのは、情報機器の急激な性能の向上と安価化が進行したためである。

我々の身近には、様々な気象現象が出現している。温暖前線や寒冷前線の通過時や台風通過

時など、雲の様子を観察することで、気象現象と雲の動きを関連づけて理解することができる。自分が住んでいる地域の地形性の雲（海風前線にともなう積雲，盆地霧など）を捕らえることもできるであろう。このシステムを各学校で取り入れ，身近な雲の様子を観察することで生徒自らが新たな発見をすることを期待したい。

一方，このシステムの利点を利用すれば，生物領域の走光性の観察や物理・化学領域の結晶成長などを短時間で観察でき，雲の観察以外にも用途は多岐にわたる。実際に，本学の理科教育法Ⅲの授業で紹介したところ，氷が溶ける様子をアニメーション GIF ファイルにしたレポートを提出した学生がいたことから，理科のその他の領域における発展も考えられる。また，気象学，環境教育の観点から考えると，6（2）の飛行機雲を起源とする上層雲量の増加により，二酸化炭素による温室効果に匹敵する効果をもたらすのではないかと懸念されている。このような視点で，上層の雲の観察を継続することの重要性も提起したい。

今後，理科教育・環境教育の各分野で，このシステムを活用していただき，様々な観察・実験に少しでもお役に立てば幸いである。

謝辞

本研究の骨子は，2007年度日本気象学会春季大会において発表した。尚，本研究の一部は，平成17年度日産科学振興財団環境教育助成によった。国土交通省航空管制課から，2006年当時の航空機の便数のデータを提供して頂いた。統計処理に関しては，理科教育科八木一正教授に，気象学の観点から東京学芸大学松田佳久教授にご教示頂いた。また，当時の町田市立小山田中学校の太田達郎校長はじめ教職員の方々，「ListCam」開発者の石川肇氏，「IrfanView32」開発者の Irfan Skiljan 氏に深く感謝致します。

引用文献

- 1) 浅井富雄・藤部文昭 (1983) : 相模湾沿岸域における海陸風系，文部科学省「環境科学」特別研究「広域大気汚染の動態」研究報告，36-91.
- 2) Glossary of Meteorology, Second Edition (2000) : American Meteorological Society,(<http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?id=condensation-trail1>).
- 3) 井出耕一郎 (1988) : 理科教材・教具の理論と実際，東洋館出版，東京，p231.
- 4) 糸賀勝美・甲斐憲次・伊藤政志 (1998) : 環八雲が発生した日の気候学的特徴－1989-1993年8月の統計解析－，天気，45,4，259-268.
- 5) 菅 民郎 (2007) : Excel で学ぶ多変量解析入門【第2版】，オーム社，東京，p273.
- 6) 北原和夫 (2008) : 科学の智プロジェクト総合報告書，p234. (<http://www.science-for-all.jp/>)
- 7) 三崎 隆 (1996) インターネットから検索できるひまわり雲画像の観察に関する基礎的研究，地学教育，49,123-130.
- 8) Minnis, P., J.K. Ayers, M.L. Nordeen and S.P. Weaver (2003): Contrail Frequency over the United States from Surface Observation, J. Climate, 16, 3447-3462.
- 9) 森田正光 (2007) : 理不尽な気象，講談社，東京，p182.

Web カメラによるインターバル撮影を利用した映像観察システムの教材化

- 10) 名越利幸・木村龍治 (1994) : 気象の教え方学び方, 東京大学出版会, 東京, p217.
- 11) 名越利幸 (1996) : 新しい気象教育と中学校における教材開発の視点, 気象研究ノート, 188, 43-53.
- 12) 中川清隆・榎原保志・下山紀夫・板場智子・中澤美三 (2004) : 雲のライブカメラ網の展開と気象情報画像取り込み・表示ソフトの開発, 地学教育, 57,3, 69-83.
- 13) 中村和郎 (2007) : 雲と風を読む, 岩波書店, 東京, p161.
- 14) Scorer.R.S and L.J.Davenport(1970): Contrails and aircraft downwash,J.Fluid Mech.vol.43.451-464.
- 15) 浦野弘・名越利幸・鈴山宏・島貫陸 (1983) : 新聞の気象衛星雲面像から雲の時間的変化を見る教材の開発, 地学教育,36,169-178.
- 16) 柳井久江 (2008) : 4 Steps エクセル統計【第2版】, オーエムエス出版, 埼玉, p270.