

第Ⅱ部 「Web-CReSS for Education」を用いた実践的研究

第6章 「Web-CReSS for Education」の概要

第Ⅰ部で述べたように、気象庁から貸与された「NHM 統合環境」は、岩手大学内の使用許可をもらっているために、他の中学校で実施できない。この課題を解決するために、フリーソフトである名古屋大学地球水循環研究センターで開発されたCReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) を用いて教育版の数値実験教材を開発したいと考えた。

この章では、新たに開発した数値実験教材「Web-CReSS for Education」が開発された経緯、実験教材の特徴や実験方法などを示す。

6.1 開発の経緯

数値実験を取り入れた授業を附属中学校の生徒を対象に実施したところ、気象の興味を高められたり、気象現象のメカニズムを理解したりするなど、様々な教育効果を得ることができた。そこで、公立中学校の生徒を対象に授業を行うと教育効果が得られるのか、また、どのような教育効果が得られるのかを検証したいと考えた。

それに伴い、ソースを公開していないNHMではなく別な数値モデルを用いて新しい数値実験教材を作製したいと考えた。現在主要とされている数値モデル(メソスケールモデル)の概要を、表6-1に示す。表6-1は、エヌエス環境株式会社が数値実験モデルの概要を調査した結果の表にならば、CReSSの概要を付け加えたものである。NHM以外は、ソースが公開されており、フリーである。数値実験の開発を依頼することを考えると、こまめに連絡を取ったり、直接会って議論したりする必要がある。また、新しい教材を作るのであれば、純日本製のものを作製したいと考えた。そこで、日本国内に開発者がおり、日本製であるCReSSを新しい数値実験教材の数値モデルとして用いようと考えた。

このことを名古屋大学地球水循環研究センター気象学研究室坪木和久氏に相談したところ、CReSS開発担当者である株式会社中電シーティーアイITソリューション事業部解析エンジニアリング部の榊原篤志氏に話を通してくださった。CReSSを教育利用したいとお話したところ、快く承諾して下さり、教育版CReSS、「Web-CReSS for Education」を開発することになった。

表 6-1 数値モデルの概要比較

数値モデル	MM5 (WAF)	RAMS	NHM	CReSS
基本方程式	非静力学	非静力学	非静力学	非静力学
圧縮の扱い	圧縮	圧縮	圧縮	圧縮
座標系	水平：直角格子 鉛直： σ, ρ	水平：ポラーステレオ 鉛直： z	水平：ポラーステレオ 鉛直： z	地形に沿う座標系の3次元 領域
観測データ 同化機能	ナッジング法 オブションで3次元変分法、 4次元変分法	ナッジング 4次元変分法	4次元変分法	1次元プロファイルを水平一様に 与えるか、出力値を補間した3次元 の非均一データを与える
雲物理	水の4相（水蒸気、水、雪、 あられ）の濃度を個別に予測 することができる	Cold rain 相変化：雲水、雨水、雲氷晶、 雪、集塊水、あられ、ひょう	Cold rain 水蒸気・雲水・雲氷・雨・雪・ あられの混合比（数密度）	水蒸気・雲水・雨水の混合 比、雲氷・雪・霰の混合比 とそれらの数密度
乱流	Mellor-Yamada レベル 2.5 乱流クロージャーモデル	Mellor-Yamada レベル 2.5 乱流クロージャーモデル	レベル 2.5 乱流クロージャー モデル	スマゴリンスキの1次のクロー ジャーモデルまたは乱流運動エネ ルギーを用いた1.5次のクロー ジャーによるパラメタリゼーション
並列処理対応	並列計算処理の標準的な 方法である MPI に対応	並列計算処理の標準的な方 法である MPI に対応	並列計算処理の標準的な 方法である MPI に対応	並列計算処理の標準的な方 法である MPI に対応
ソースの公開	公開	公開	大学・研究機関にのみ公開	公開
シェア・フリー	フリー	フリー	-	フリー
開発元	NCAR/Pennsylvania State Univ.	Colorado State Univ.	気象研究所	名古屋大学地球水循環研究 センター

開発することが決定してからは、自分がインターフェース案や実験内容を提案し、ソフトの作成は開発担当者の方々に委託した。具体的にどのような経緯で「Web-CReSS for Education」が現在のバージョンになったのかを、以下に詳述する。

2015年3月17日：榊原氏と、榊原氏と同じ部署の物江大輔氏に盛岡まで足を運んでいただき、開発したい数値実験のイメージやインターフェースの構図などの要望を直接伝えた。また、実験の具体的な内容について議論し、実験環境はUSBメモリに全て入れることと、いくつかの実験サンプルを作成することで話がまとまった。

2015年8月31日：サンプル版が届く。まだ設定画面が追加されていない状態であったため、生徒に設定させたい条件と、設定した値をもとに自動計算してもらう条件を具体的に提示した上で、設定画面のインターフェース案（図6-1）を送り、修正してもらうよう伝えた。

2015年10月16日：現時点で作成していただいたインターフェース画面が届く。この時点の設定画面では、すでに要望していた、計算領域・格子間隔・計算実行時間・海水面温度・地形の有無・標高の有無を変更できるようになっていた。

2015年11月12日：設定画面が追加された教材が届く。さらに、初期時刻を変更できるオプションを追加してもらうように要望を出した。

2015年12月14日：初期時刻を変更できる現在のソフト（6.3参照）が届く。

・ 実験名：台風シミュレーション ・ 計算領域

・ 計算実行時間

時間

・ 計算時間間隔 (自動設定) sec

・ 出力時間間隔 分

・ 格子間隔

・ 格子数

X方向 (固定値) × Y方向 (固定値)

図6-1 設定画面のインターフェース案

6. 2 特徴とソフトウェアの構成

6. 2. 1 ソフトウェアの特徴

気象モデルは、前述したように、広く一般に公開されており、利用に際しての制約が小さい名古屋大学地球水循環研究センターで開発された雲解像度モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) を用いている。

『CReSS はその名前が示すように、雲を表現すると共にそれが組織化したメソスケールの降水システムをシミュレーションできるものである。そのために水平と鉛直の解像度が可能な限り高く、雲の中で起こっている雲・降水に関する物理過程を可能な限り表現したものを目標としている。雲・降水は非常に複雑で実際の大气中の現象においても未解明なものが常にたくさんある。それらのなかには、観測だけでは解明できないものがある。今後、観測と共にこうした雲のモデルを並行して研究することで、雲・降水の物理過程とその組織化したメソ降水システムの未解明な部分が明らかになり、さらにこれによって豪雨の予測に貢献することが CReSS の開発の究極の目標である。』(坪木・榊原, 2001)

以上のように、CReSS は、雲スケールからメソスケール (中規模) 領域の現象を高精度シミュレーションできる、非静力学気象モデルである。このような本格的なシミュレーションソフトを教育利用できるように開発したものが「Web-CReSS for Education」である。

CReSS の数値実験では、初期条件として、高層観測などから 1 次元プロファイルを水平一様に与えるか、広領域モデルにネスティングする場合は、その出力値を補間した 3 次元の非均一データを与える。そして、境界条件には、固定壁条件 (鏡像条件)、周期境界条件、傾き零の条件、放射境界条件を用いることができるようになっている。しかし、これらの設定は中学生にとって難しいため、数値実験を行う現象 (実験の種類) を決めておき、その数値実験に必要な初期条件・境界条件をあらかじめソフトに入れておく。このように、初期条件取得などの操作に関してはできる限り省略し、中学生が簡単に操作できるように、シンプルなインターフェースを作成した。このことによって、数値実験を行う上で最も重要な操作の 1 つである「条件設定」を可能にし、授業時間内に中学生が数値実験を体験できるようにした。

ソフトウェアの既存のデスクトップアプリケーションに相当するシンプルな操作機能は、ブラウザ画面によるインターフェースを用いている。また、CReSS は Windows のアプリケーションである仮想化用ソフトウェアが実行するバーチャルマシン (VMware Player) において動作するよう設計されている。

6. 2. 2 ソフトウェアを動作させる計算機の要件

「Web-CReSS for Education」を動作させるために必要な計算機の要件を、表 6-2 に示す。

表 6-2 「Web-CReSS for Education」を動作させるために必要な計算機の要件

項目	内容	備考
プロセッサ	Intel Core i7 推奨	この系列以下の CPU (i3、i5 系列) でも動作するが、気象モデルの計算に時間を要する。
メモリ	2 GB 以上推奨	バーチャルマシンの実行に 1 GB のメモリを使用する。
ハードディスク容量	20GB 以上推奨	バーチャルマシンのディスク容量が最大 20 GB まで増加する。
OS	Windows 7 以降	
ブラウザ	Google Chrome	他のブラウザだとボタン操作や表示に支障が生ずる可能性がある。
その他ソフトウェア	VMware Player	インストール済みであることを前提とする。バージョン 7 以降を推奨する。

6. 2. 3 ソフトウェアの構成

「Web-CReSS for Education」は、USB メモリに一式同封されている。USB メモリには 2 つのフォルダがあり、これらでソフトウェア一式が構成される。ソフトウェア構成を表 6-3 に示す。

表 6-3 ソフトウェアの構成

フォルダ名	ファイル名/サブフォルダ名	内容
Doc	.docx ファイル	取扱説明書
Soft	CReSS_Cent OS 6.6	気象モデル CReSS および WEB サーバソフトウェアが動作するバーチャルマシン
	Start.bat	インストーラーおよび環境構築用バッチファイル

6. 2. 4 ソフトウェアの動作環境とバーチャルマシンの構成

「Web-CReSS for Education」は、インストールした後（6. 3 参照）、Windows のデスクトップ環境において「VMware Player」から起動されたバーチャルマシンで動作する。このバーチャルマシンは、LINUX 系である Cent OS が OS である計算機であり、イメージファイルを用いて構築されている。また、マシンの諸元は表 6-4 のとおりである。

表 6-4 構築したバーチャルマシンのマシン設定

項目	内容	備考
プロセッサ	割り付け数 1	実環境の CPU のコア数が多ければ「1」以上を指定できるが、ここでは固定。
メモリ	1 GB	加減可能であるが、バーチャルマシンの実行性能に影響がある可能性がある。
ハードディスク容量	20 GB	USB メモリからのインストール時は 8 GB 程度であるが、ソフトウェアを使用していくにつれて増加する（最大 20 GB まで）。
ネットワークアダプタ	NAT	ネットワーク・アドレス変換により、実環境の IP アドレスを共有する。

また、バーチャルマシンでは気象モデル CReSS の実行環境が整備されており、また、WEB サーバソフトウェアがサーバプロセスとして動作している。これにより、ユーザーは Windows のデスクトップ環境からブラウザを通じてこのバーチャルマシンにアクセスすることができる。図 6-2 に Windows のデスクトップ環境とバーチャルマシンの相関を、表 6-5 にバーチャルマシンのディレクトリ構成を示す。

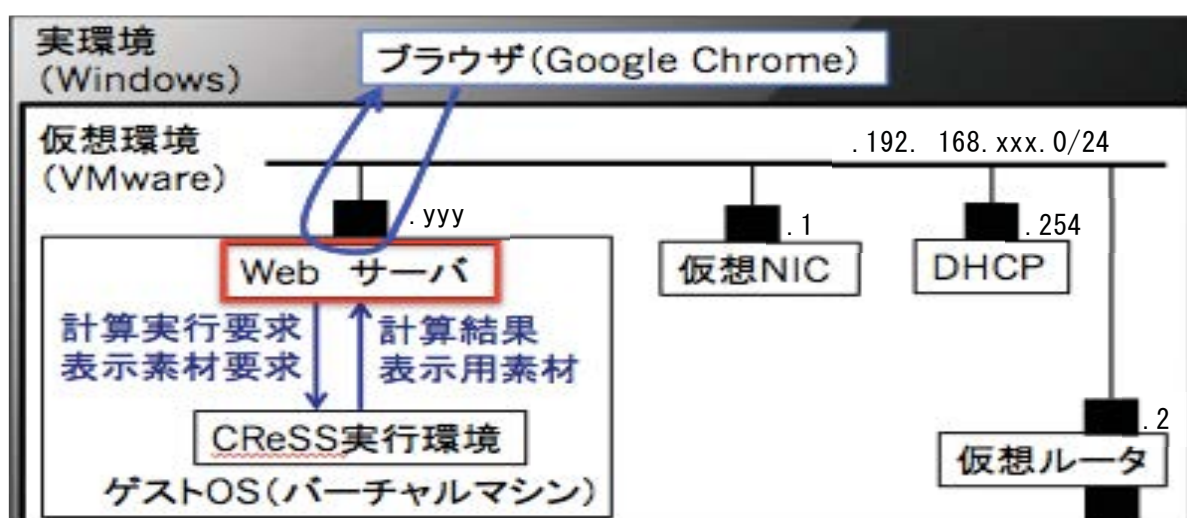


図 6-2 Windows のデスクトップ環境とバーチャルマシンの相関

表 6-5 バーチャルマシンのディレクトリ構成

ディレクトリ名		内容
/home/cress/ExperimentCReSS/		CReSS の実行環境およびブラウザ表示素材が内包されている
	CReSS3.4.4m_20150623	CReSS の最新バージョン
	Conf	CReSS の設定ファイルの雛形
	Data	各種実験のためのデータ
	Simulation	各種実験の実行ディレクトリ
	www	ブラウザ表示用素材

なお、実行環境に用いられている気象モデル CReSS のバージョンは、2015 年 8 月時点で最新のバージョン 3. 4. 4 (2015 年 6 月 23 日付) である。

6. 3 使用方法・実験方法

6. 2 で述べたような特徴のある「Web-CReSS for Education」のインストール (実験準備) 方法・注意点と、実験方法について、以下に示す。

6. 3. 1 ソフトウェアのインストール方法

①インストーラーを起動して、「Web-CReSS for Education」を Windows のデスクトップ環境に配置する。

USB メモリにある「soft」フォルダの「start.bat」を選択(実行)する (図 6-3)。ソフトウェアが配置されるまで、計算機スペックにもよるが 10 分程度要する。

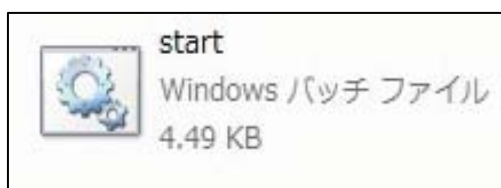


図 6-3 「start.bat」アイコン

②バーチャルマシンを起動する。

ソフトウェアの配置が終了すると、「VMware Player」を動作させて CReSS の実行環境であるバーチャルマシンを起動する。このとき、起動前の黒い画面表示のバーチャルマシンと確認ダイアログのウィンドウ（図 6-4）がデスクトップに表示されるため、「コピーしました」ボタンを選択する。ボタンを押した後、バーチャルマシンは起動中のウィンドウ表示に遷移する。その後、バーチャルマシンが起動し、起動したマシンの IP アドレスを自動検索する。

※確認ダイアログボックスが表示された後、すぐに「コピーしました」を選択しないと、「Web-CReSS for Education」をブラウザに表示することができない。

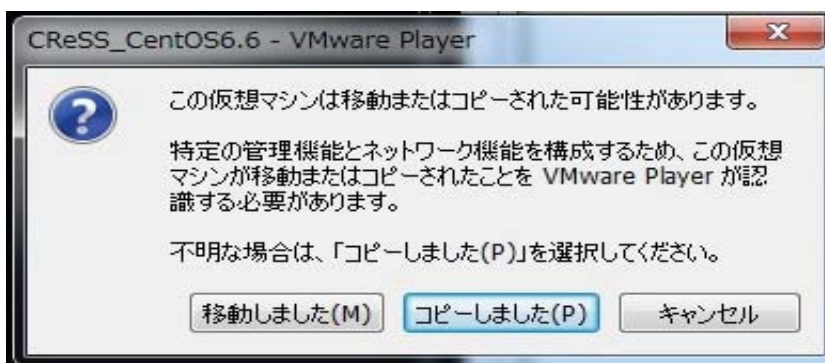


図 6-4 確認ダイアログのウィンドウ表示

③ブラウザの自動起動

②までの操作が終わるとブラウザが自動起動して、CReSS による「Web-CReSS for Education」のトップページが表示される（図 6-5）。



図 6-5 「Web-CReSS for Education」のトップページ

6. 3. 2 実験方法

図6-5のトップページに表示されているとおり、「Web-CReSS for Education」には4つの実験（台風・低気圧・積乱雲・寒冷前線）が含まれている。今回は、授業実践で使用する「台風」の実験方法についてのみ、以下に示す。

【「Web-CReSS for Education」台風の数値実験の流れ】

①条件設定をしてから実験する項目（「設定・計算してから結果を見る」）を選択する。



《条件設定》

・領域設定

②実験したい領域の左下緯度・経度、右上緯度・経度を設定する。

※「地図表示」ボタンを選択すると、設定した領域の地図が自動的に出力される。

③水平方向の格子数を選択する。（500 m・1 km・5 km・10 km から選択。）



・計算設定

④計算の開始時刻を選択する。（2015年7月15日午前9時から12時間おきに、2015年7月17日午後9時まで選択できる。）

⑤計算の終了時間を選択する。（1時間・3時間・6時間・8時間・10時間・12時間から選択。）



・オプション設定

⑥標高のあり・なしを選択する。

⑦海水面温度を設定する。（元の温度は21℃と設定されている。）

⑧結果ファイルの出力間隔を設定する。（10分・30分・60分から選択する。）

⑨陸地の特性で、陸地または海を選択する。

※X方向格子数・Y方向格子数・時間刻み（時間間隔）は自動設定される。



⑩「計算する」ボタンを押し、計算をスタートさせる。



《結果解析》

⑪計算結果を海面気圧・地表面降水量・雲水量断面図の3つで確認することができる。

※全ての実験結果に風向・風力を表す矢羽根が表示されている。自分で気象要素を入力（追加）することはできない。

以上のような流れで数値実験を行う。さらに詳しい実験方法や使用方法などを以下に示す。

- ① 「Web-CReSS for Education」のトップページ（図6-5）から「台風シミュレーション」を選択し、台風の実験のトップページに進む（図6-6）。



図6-6 台風の実験のトップページ

- ② 実験の種類「海上の台風 (2015年7月15~17日の例) -設定・計算してから結果を見る-」を選択する。選択すると、画面左下の「設定する」のボタンが有効になり、黄色表示になる（図6-7）。また、右のボックスに「未設定」という文字が表示される。



図6-7 実験選択画面

③ 図 6-7 の「設定する」ボタンを選択する。その後条件設定画面が新しいタブで表示され（図 6-8）、条件設定ができるようになる。



図 6-8 条件設定画面

条件設定ができる項目と設定方法は、次頁のとおりである。

- ・領域設定：左下緯度・経度、右下緯度・経度をそれぞれ入力する。入力終了後、黄色いボタンの「地図表示」を選択すると、自動的に日本地図が設定した領域の地図に変わる。
- ・水平方向の格子数：500 m・1 km・5 km・10 km から、選択する。
- ・標高設定の選択：標高あり・標高なしのどちらかを選択する。
- ・計算の開始時刻：2015年7月15日午前9時から12時間おきに、2015年7月17日午後9時まで選択することができる（図 6-9）。
- ・予測計算の終了時間：1時間・3時間・6時間・8時間・10時間・12時間から選択する。
- ・海面温度：自由に入力することができる。
- ・結果ファイルの出力間隔：10分・30分・60分から選択する。
- ・陸地の特性の変更：陸地・海どちらかを選択する。



図6-9 計算の終了時間プルダウンメニュー

一方、「X方向格子数」「Y方向格子数」「時間刻み」は、領域（緯度・経度）と水平方向の格子幅を選択すると、自動的に適切な値が表示される（設定される）。※ノートPCレベルで計算できる最大の設定は、5km幅で100m×100m格子である。そのため、「X方向格子数」×「Y方向格子数」が100×100になるように、領域と水平方向の格子幅を設定しなければならない。

④条件設定終了後、図6-9の左下にある「計算する」ボタンを選択する。すると、実際にバーチャルマシンでシミュレーション計算が開始する。台風のトップページのタブに戻ると、右のボックスが「未設定」から「計算中」に変わり、計算が進んでいる様子を見ることができる（図6-10）。

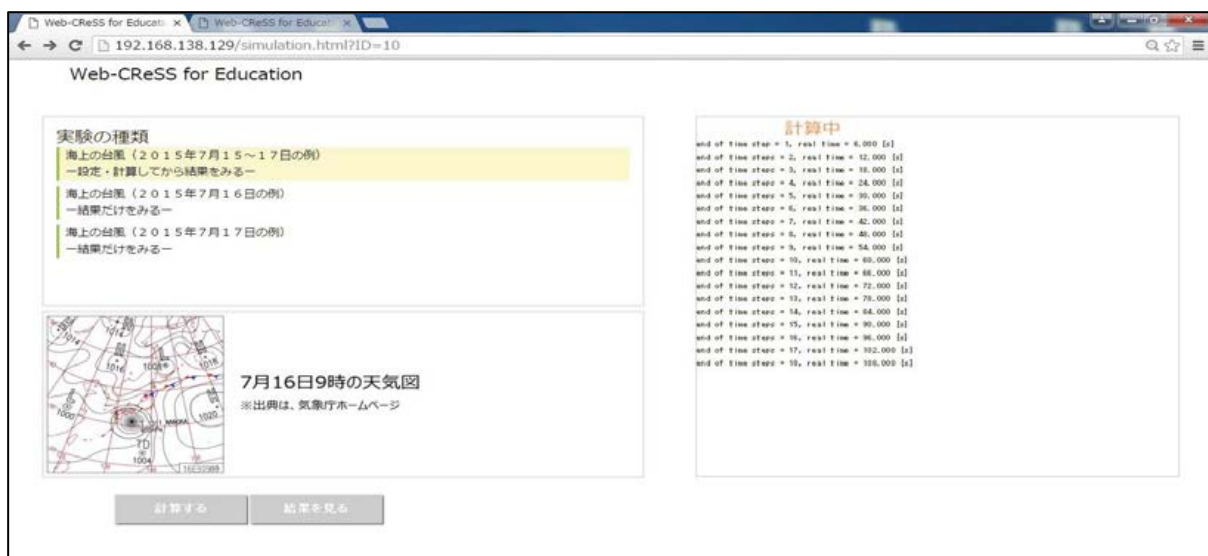


図6-10 台風の実験のトップページ（計算中）

- ⑤計算が終了すると、画面左下の「結果を見る」のボタンが有効になり、黄色表示になる（図6-11）。「結果を見る」のボタンを選択すると、実験結果を見ることが出来る（図6-12）。



図6-11 台風の実験のトップページ（計算終わり）

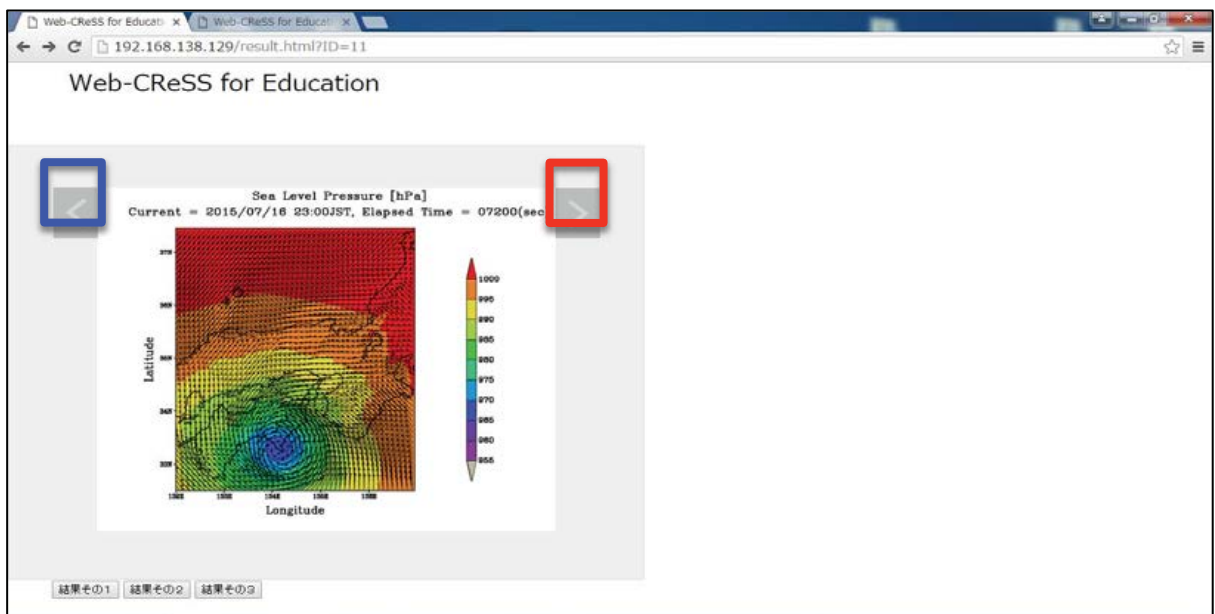


図6-12 実験結果例

実験結果は、条件設定画面（図6-8）で設定した、「予測計算の終了時間」までの結果を、「結果ファイルの出力間隔」で設定した数値ごとに見ることができる。次の時間の結果を見たいときには、図6-12の赤い枠で囲まれた矢印ボタンを押す。反対に、前の時間の結果を見たいときは、青い枠で囲まれた矢印ボタンを押す。

結果を拡大して見たいときは、画面上でクリックすると拡大でき、もう一度クリックすると縮小できる。(※実際の結果表示画面には、赤い枠や青い枠は表示されない。)

一方、実験結果を3種類の気象要素ごとに見ることができる。図6-12の下に「結果その1」「結果その2」「結果その3」というボタンがあり、それを選択することによってそれぞれの結果を見ることができる。

【結果その1：海面気圧 (hPa)】

- ・ Current：表示している結果の日時
- ・ Elapsed time：経過時間 (秒)
- ・ カラーバー：図中の気圧の指標
- ・ 図中の矢印の向き：水平方向の風向
- ・ 図中の矢印の長さ：風力
- ・ 図の縦軸：緯度
- ・ 図の横軸：経度

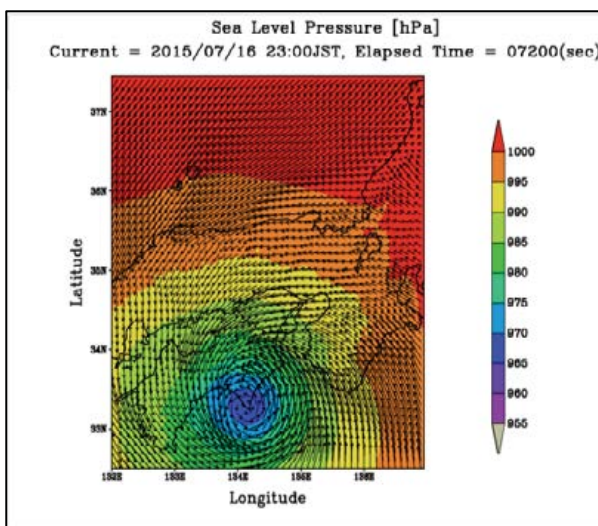


図6-13 結果その1 (海面気圧)

図6-13では、台風を中心気圧にあたる水色の部分が965~970 hPaを示しており、中心から離れていくにつれて気圧が高くなっているのが確認できる。また、矢羽根が中心から左回りに出ていることから、風が台風を中心から反時計周りに吹き出している様子が確認できる。

【結果その2：地表面降水量 (mm/hr)】

- ・ Current：表示している結果の日時
- ・ Elapsed time：経過時間 (秒)
- ・ カラーバー：図中の降水量の指標
- ・ 図中の矢印の向き：水平方向の風向
- ・ 図中の矢印の長さ：風力
- ・ 図の縦軸：緯度
- ・ 図の横軸：経度

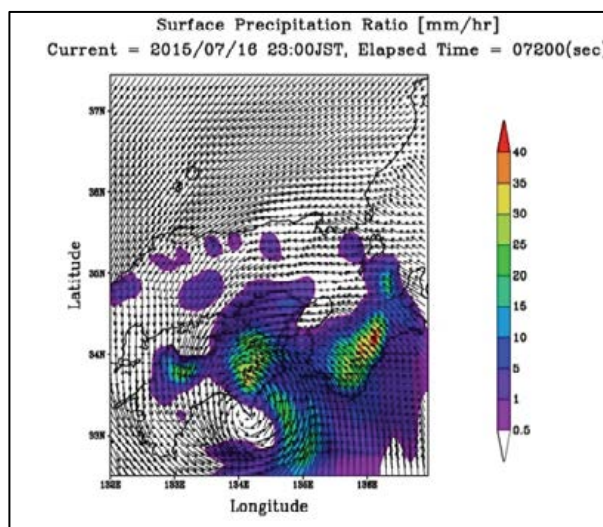


図6-14 結果その2 (地表面降水量)

図6-14では、台風の中で雨が降っていないことや、台風の右半円で降水量が多くなっていることがわかる。この領域における最大降水量は地図上の赤い部分（三重県のあたり）で、40 mm/hr以上となっていることがわかる。また、図6-14と同様に矢羽根が台風を中心から左回りに出ていることから、風が台風を中心から反時計周りに吹き出している様子が確認できる。

【結果その3：断面図雲水量 (kg/kg)】

- ・ Longitude：断面経度
- ・ Current：表示している結果の日時
- ・ Elapsed time：経過時間 (秒)
- ・ カラーバー：図中の雲水量の指標
- ・ 図中の矢印の向き：鉛直方向の風向
- ・ 図中の矢印の長さ：風力
- ・ 図の縦軸：高度 (m)
- ・ 図の横軸：経度

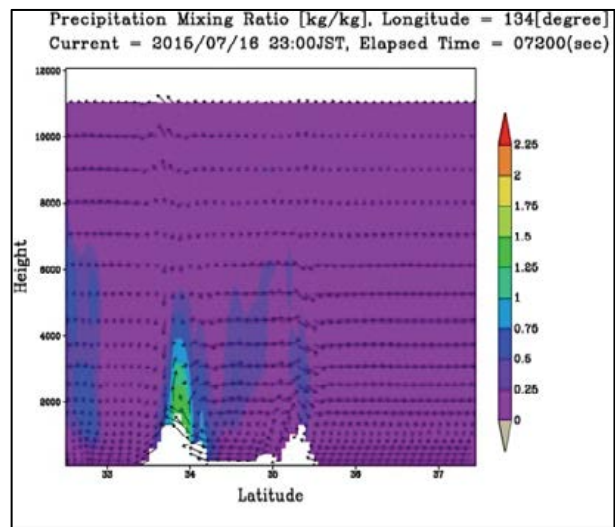


図6-15 結果その3（断面図雲水量）

図6-15では、東経134度の北緯32.5度から37.5度の領域の断面図を見ることができ、下の方に見える白い部分は地形（山）である。山があるところで矢羽根が上向きになり、雲水量が多くなっている（最大2 kg/kg）ことから、山の斜面に沿って風が上昇し、その上昇したところに雲ができていることがわかる。

以上のような実験方法で条件設定して、数値実験を行う。一方、台風の実験のトップページ（図6-6）の「実験の種類」には、「海上の台風（2015年7月16日の例）-結果だけを見る-」「海上の台風（2015年7月17日の例）-結果だけを見る-」といった、条件設定をしなくても結果だけを見られる項目もある。これらの結果を見る操作方法は⑤と同じである。

6. 3. 3 ソフトウェアのアンインストール（実験終了）方法

①最初にブラウザを閉じる。トップページや条件設定画面など、どの画面においても問題ない。

②次にバーチャルマシン (VMware Player) を終了する。バーチャルマシンのウィンドウ表示右上隅の「×」を選択すると、バーチャルマシンの終了方法選択ダイアログがウィンドウ表示される (図 6-16)。「パワーオフ」を選択する。

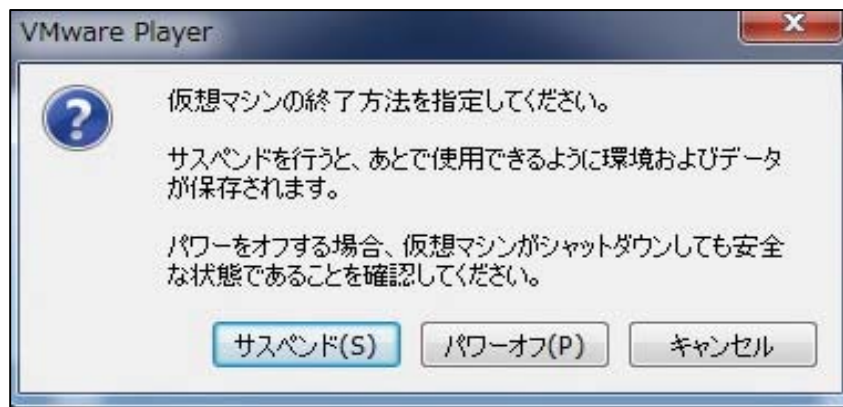


図 6-16 バーチャルマシンの終了方法選択ダイアログのウィンドウ表示

③バーチャルマシンのウィンドウ表示が閉じたのを確認後、デスクトップにある「CReSS_CentOS6.6」フォルダを削除する (ゴミ箱に移動する)。

6. 3. 4 その他の操作方法・注意点

- ・前の画面に戻りたいときは、ブラウザの「もどる」に相当するボタンを使用する。
- ・実験の計算が正常に終了するまで「計算する」「結果を見る」ボタンのいずれも有効にはならない。
- ・一度計算が終了した実験の再実験はできず、結果表示のみが有効となる。それでも再実験をしたい場合は、アンインストールおよび再インストールを行う。

第7章 授業実践 I

当初の予定では、初期時刻を変更できる「Web-CReSS for Education」を用いようとしていたが、その教材が上田中学校の授業前に届かなかった。そこで、上田中学校と附属中学校の A 組 B 組は、初期のバージョン（初期時刻変更不可）を用いて授業をした。以下、上田中学校のクラスを算用数字（1～4 班）で表し、附属中学校のクラスをローマ字（A 組・B 組）で表す。


7. 1 授業の概要

初期のバージョンの「Web-CReSS for Education」を利用した授業実践を、2015 年 12 月 8 日（火）～11 日（金）に盛岡市立上田中学校、2015 年 12 月 14 日（月）～16 日（水）に岩手大学教育学部附属中学校で実施した。対象は、気象領域を学習済みの第 2 学年上田中学校 4 クラス 136 名、附属中学校 2 クラス 77 名である。授業の目的や内容などの詳細について、以下に報告する。

7. 1. 1 授業の目的

授業の目的は、「NHM 統合環境」の授業と同様に、「数値実験の仕組みを理解する」「地形変化による気象現象（台風）の変化を理解する」ことの 2 つとした。今回、台風を授業の題材として選んだ理由は、2015 年の 3 月にスーパー台風が発生し、生徒たちは「台風」に関心を持っているのではないかと考えたからである。また、台風は毎年日本に接近・上陸していて、台風情報などを一度は目にしたことがあるため、興味を持って授業に臨むことができるのではないかと考えたからである。

7. 1. 2 実験環境

実験環境は、の通りである。今回の授業でも、NHM の授業と同様の PC を用いた。実験を行うために必要である、Google Chrom と VMware Player を PC 上にインストールし、そこに「Web-CReSS for Education」のソフトが入った USB メモリを差し込む。

このようなシステム環境を理科室の班編成に合わせ、上田中学校は 8 セット、附属中学校は 10 セット用意した。



図 7-1 実験環境 (PC、マウス、USB メモリ)

7. 1. 3 授業構成

授業は、2 時間構成である。「Web-CReSS for Education」の計算実行時間は、「予測計算の終了時間」で設定した値の約半分の時間を要するため、予測計算の終了時間を 12 時間に設定すると、計算の実行に 6 時間かかってしまう。そこで、今回の授業では、2 時間連続授業ではなく、1 時間目の授業をした次の日に 2 時間目の授業をする構成とした (表 7-1、表 7-2)。

以下に、1 時間目と 2 時間目のそれぞれの目的と主な内容を示す。なお、1 時間目の授業は、第 3 章の「NHM 統合環境」を利用した授業 (以下、NHM の授業) の【数値積分の基本概念の学習】に修正を加えたものであるため、前回の授業の改善点について触れながら述べる。

【1 時間目：数値積分の基本概念の学習】

目的は、「数値予報・数値実験は、方程式がもとになってできており、現在の気象状況 (初期値) を基に多くの計算をしていることを理解する」と、「格子の概念を理解する」の 2 つとした。

授業内容は、将来の温度を求める偏微分方程式「移流方程式」を用いて、将来の温度を手計算で求め、数値積分の概念を学習することである。移流方程式 (偏微分方程式) を数列の式に書き直し、四則演算で求める式に変換した経緯については、3. 1. 2 を参照してほしい。しかし、NHM の授業で用いた数式の形 (式 7-1) は、定数項の一部である風速 u がマイナスであるため、{} 内の計算の値にマイナスをかけなければならず、この計算でつまづいている生徒が多く見受けられた。

$$T(x_0, t_1) = T(x_0, t_0) + \frac{-u\Delta t}{2\Delta x} \{T(x_1, t_0) - T(x_{-1}, t_0)\} \quad (\text{式 7-1})$$

そこで、式 7-2 のように、風速 u のマイナスを前にもってきた式に変形すると、計算しやすくなるかもしれないと考えた。

$$T(x_0, t_1) = T(x_0, t_0) - \frac{u\Delta t}{2\Delta x} \{T(x_1, t_0) - T(x_{-1}, t_0)\} \quad (\text{式 7-2})$$

x_0 : 現在の地点 (m)、 x_1 : 現在の右隣の地点 (m)、 x_{-1} : 現在の左隣の地点 (m)、 t_0 : 現在の時刻 (s)、 t_1 : 次の時刻 (s) をそれぞれ示している。

式 7-2 の形を言葉の式で表現すると、式 7-3 のようになる。

$$(\text{将来の温度}) = (\text{現在の温度}) - \left(\frac{\text{風速} \times \text{微小時間}}{2 \times \text{微小距離}} \right) \times$$

$$\{(\text{現在の右隣の地点の温度}) - (\text{現在の左隣の地点の温度})\} \quad (\text{式 7-3})$$

つまり、「将来の温度」を求めるためには、「風速に微小時間をかけたものを微小距離の 2 倍で割った定数」を「現在の右隣の地点の温度から現在の左隣の地点の温度をひいた温度」にかけて、それらを「現在の温度」から引くことによって求められる。この式を用いて、3 地点 10 秒後の温度を手計算で求めることにした。

次に、数値実験の条件設定を生徒と一緒にやる。その際に、生徒が手計算した領域と数値実験で計算する領域を比較し、格子の概念について学習する。生徒は、5 m 間隔で 25 m 分の計算を行うが、数値実験で行う領域は、5 km 四方の領域を 100 × 100 格子分、つまり、500 km 四方の領域を計算することを確認する。この比較を行うことにより、数値実験は計算（方程式）がもとになってできていることを理解できるのではないかと考えた。

最後に、「海水面温度」を元のデータの 21°C から、10°C 上げる班と 10°C 下げ班に分かれて条件設定を行う。上田中学校は 1 クラス 8 班編成であるため、4 班ずつ分かれた。附属中学校は 1 クラス 10 班編成であるため、5 班ずつ分かれた。

【2 時間目：海水面温度変化による台風の変化】

目的は、「海水面温度を変化させた台風の数値実験結果から、台風が変化する原因について考える」とした。

授業内容は、海水面温度を変えて数値実験した結果と、実際に観測された海水面温度でシミュレーションした結果を比較し、温度変化による台風の変化について考察する。この 2 つの結果で比較させようと思ったのは、以下の 2 つの理由からである。

① 実験結果の図には、海面気圧や降水量などが表示されるが、具体的な値が表示されるわけではない。つまり、気象庁に保存されているような実際の観測データ（数

値)と比較しようとしても、具体的な値が分からないため比較することができないと判断したため。

②海水面温度以外の他の条件を揃えるために、同じソフト・同じ領域のシミュレーション結果を用意することで、図同士で比較することができるため。また、図同士だと、直感的に違いに気づくことができると考えたため。

以上の理由により、海水面温度を変えて数値実験した結果と、実際に観測された海水面温度でシミュレーションした結果を比較することにした。

1時間目の条件設定で、1時間おきに12時間分の実験結果が得られるように設定するが、1時間で12時間分の実験結果を見るのは、時間的に無理がある。そこで、1つの班がそれぞれ3時間おきの結果について考察し、その後それぞれの結果を発表し合い、全体で結果を共有する流れにする。このことにより、温度変化による台風の変化だけではなく、台風の時間変化についても共に学習する。

次の頁以降に、1時間目と2時間目の学習指導案と、授業で使ったPPのスライドを示す。

表 7-1 学習指導案略案（上田中学校・附属中学校 1 時間目）

段階	学習活動及び学習内容	時間 (分)	■使用した教材 ○指導上の留意点など
導入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・台風の予報図を見て、どのようにして予報図を作成しているのか把握する。 →シミュレーション（数値予報）によって行われていることを確認する。 ・2時間を通して、台風の予報（数値予報）を行うのではなく、数値実験を行うことを確認する。 →条件を変えた（陸を海にしたり、海水面温度を低くしたりした）台風がどのようなものかを考えていくことを確認する。 <p>2 課題把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーション（数値実験）を行う前に、その仕組みについて学習し、実際に数値実験を行うことを確認する。 	5	<p>■PP（【1】～【7】）</p> <p>○実際に数値実験を行う 2015 年 7 月 15 日の台風の予報図を提示する。</p>
	<p>数値実験のしくみを学び、数値実験を体験しよう。</p>	8	<p>○数値予報と数値実験の違いを明らかにする。</p>
展開	<p>3 数値実験は計算によって行われていることを学習する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際に計算を行っている方程式を見て、多くの計算を PC が行っていることを把握する。 ・その中の 1 つ、移流方程式を計算することを確認する。 <p>4 移流方程式を手計算で解く。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・移流方程式を手計算（電卓）で行い、計算結果を学習プリントに記入する。 ・計算結果をグラフに記入する。 ・将来の温度は、現在の温度を元に計算していることを確認する。 	<p>15</p> <p>35</p>	<p>■PP（【8】～【16】）</p> <p>○移流方程式のグラフを見せ、10 秒後にどのような形のグラフになるのか予想させる。</p> <p>■「10 秒後の温度を計算で求めよう！」プリント（図 7-2）</p> <p>■計算補助シート（図 7-3）</p> <p>■PP（【17】～【19】）</p> <p>■PP（【20】）</p>

	<p>5 実際に行われている地球全体の数値予報について知る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スーパーコンピュータ「京」の話から、コンピュータの有用性などに気づく。 <p>6 数値実験（数値予報）のしくみのまとめ</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・数値実験（数値予報）は方程式がもとになってできている ・コンピュータは、非常にたくさんの計算をしている。 ・正確な初期データ（観測）が大事である。 </div>	<p>38</p> <p>40</p>	<p>○数値実験ができるきっかけとなったリチャードソンの話に触れ、昔は手計算で予報しようとしていたことを伝える。</p> <p>■PP (【21】・【22】)</p>
終 結	<p>7 台風の数値実験の設定を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海面温度を10℃低くするグループと、海面温度を10℃高くするグループに分かれる。 ・設定は、マニュアルを見ながら一緒に行う。 	<p>50</p>	<p>■PP (【23】～【30】)</p> <p>○ノートPCだと、12時間の計算を半分の6時間で計算できることを伝える。</p>

表7-2 学習指導案（上田中学校2時間目）

段階	学習活動及び学習内容	時間 (分)	<p>■使用した教材</p> <p>○指導上の留意点など</p>
導 入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前回実験した結果を見て、台風の大きさや降水量が、実際の台風と比べてどのようになっているのか調べることを確認する。 <p>2 課題把握</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>日本列島周辺の海面温度を変化させると、台風はどのように変化するのだろうか。</p> </div>	<p>3</p>	<p>■学習プリント1組・2組用（図7-5）、学習プリント3組・4組用（図7-6）</p> <p>○考える視点（台風の大きさや風向）を与える。</p>

<p>展開</p>	<p>3 予想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際の台風の計算結果を見るとともに、実験で見ることができる結果（海面気圧・地表面降水量・雲水量）を確認する。 ・実際の台風の気圧の変化やなぜ衰退する（温帯低気圧になる）のかを確認する。 ・自分たちが設定した条件では、台風がどのように変化しているのかを班ごとに予想する。 ・予想したものを発表する。 <p>4 実験結果をまとめ、考察する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分たちが行った実験結果を見て、どのような結果になっているのか確認する。 ・どうして実験結果のようになるのかを考察する。 ・班ごとに結果と考察を発表してもらおう。 <p>5 2つのグループの結果をもとに、最終的にどのようなことが言えるのか考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・学習プリントの「海水面温度を10℃低くすると、」「海水面温度を10℃高くすると、」に続く文章を考える。 <p>（箇条書きでも可とする。）</p>	<p>15</p> <p>35</p> <p>45</p>	<p>■実験結果の表示要素説明プリント （図7-8）</p> <p>○生徒が発表しているときは、プロジェクターに実験結果を表示し、全員が結果を共有できるようにする。</p> <p>■PP（【31】）、 実験結果まとめ比較表（図7-9）</p>
<p>終結</p>	<p>6 まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発表した内容をもとに全体のまとめを行う。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>例) ・海水面温度を10度低くすると、海からの水蒸気量が減り、台風の大きさが小さくなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海水面温度を10℃高くすると、地表面での降水量が多くなる。 など </div> <ul style="list-style-type: none"> ・数値実験で用いたシミュレーションソフトを使用して作成された、台風3D映像を見せる。 	<p>50</p>	<p>○生徒が発表した内容をもとに本時のまとめを行う。</p> <p>○伊勢湾台風の3D動画を最後に見せる。</p>

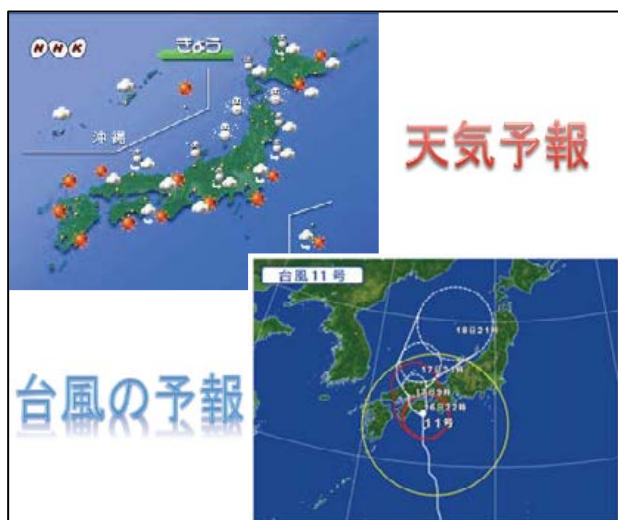
表 7-3 学習指導案（附属中学校 2 時間目）

段階	学習活動及び学習内容	時間 (分)	■使用した教材 ○指導上の留意点など
導入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前回実験した結果を見て、台風の大きさや降水量が、実際の台風と比べてどのようになっているのか調べることを確認する。 <p>2 課題把握</p> <p>日本列島周辺の海面温度を変化させると、台風はどのように変化するのだろうか。</p>	3	<p>■学習プリント A 組・B 組用 (図 7-7)</p> <p>○考える視点 (台風の大きさや風向) を与える。</p>
展開	<p>3 予想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分たちが設定した条件では、台風がどのように変化しているのかを班ごとに予想する。 (挙手制で予想を発表し、何人かに予想の理由を尋ねる。) <p>4 実験結果をまとめ、考察する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際の台風の計算結果を見るとともに、実験で見ることができる結果 (海面気圧・地表面降水量・雲水量) を確認する。 ・自分たちが行った実験結果を見て、どのような結果になっているのか確認する。 ・どうして実験結果のようになるのかを考察する。 ・実験ごとに結果と考察を発表してもらおう。 <p>5 2つのグループの結果をもとに、最終的にどのようなことが言えるのか考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・学習プリントの「海面温度を 10℃低くすると」、「海面温度を 10℃高くすると、」に続く文章を考える。 	<p>8</p> <p>25</p> <p>35</p>	<p>■実験結果の表示要素説明プリント (図 7-8)</p> <p>○実験結果は、12 時間後のみを見る。</p> <p>○生徒が発表しているときは、プロジェクターに実験結果を表示し、全員が結果を共有できるようにする。</p> <p>■PP (【31】)、 実験結果まとめ比較表 (図 7-9)</p>

	<p>6 まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発表した内容をもとに全体のまとめを行う。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>例)・海水面温度を10℃低くすると、海からの水蒸気量が減り、台風が大きさが小さくなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海水面温度を10℃高くすると、台風は温帯低気圧に変わらない。など </div>	40	
終 結	<p>7 演習問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2日間(7月16日、17日)の台風のシミュレーション結果を見て、台風の特徴や動向を調べる。 ・班ごとに台風の特徴や動向など、わかったことを発表する。 ・数値実験で用いたシミュレーションソフトを使用して作成された、台風3D映像を見せる。 	50	<ul style="list-style-type: none"> ○生徒が発表した内容をもとに本時のまとめを行う。 ○伊勢湾台風の3D動画を最後に見せる。

・授業で使用したPPのスライド

・授業での説明(●)、生徒への発問等(▲)

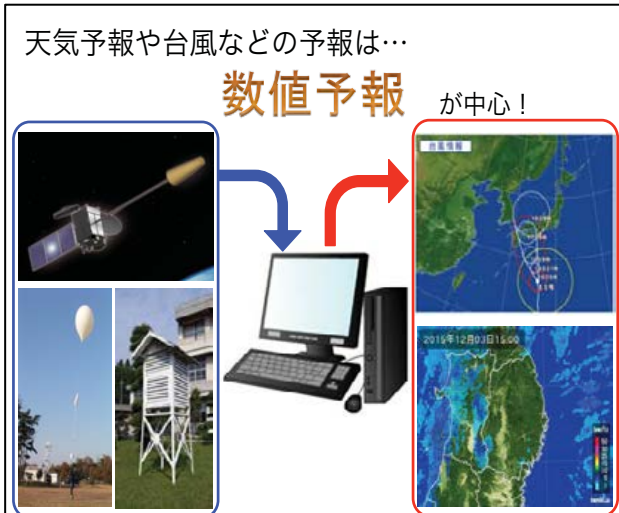


●導入

天気予報と台風の予報図を提示し、これらの予報図がどのようにできているのか問いかける。

▲天気や台風などの予報を今までに何度も見たことがあると思いますが、この予報って、どうやって出しているか知っていますか？

【1】

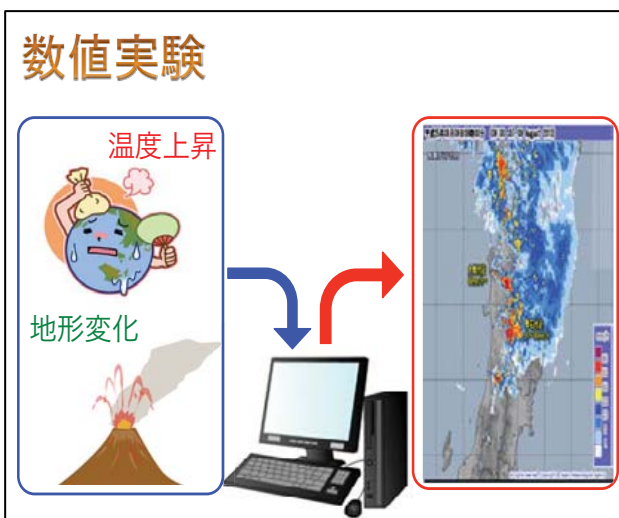


【2】

●数値予報の説明

「数値予報」の意味を簡単に説明する。

▲数値予報っていうのは、簡単に言うと、世界中の様々なところで観測したデータをコンピューターに取り込んで、将来の天気をシミュレーションすることを言います。



【3】

●数値実験の説明

天気を予報する「数値予報」だけではなく、同じような原理で「数値実験」というものが災害対策などのために使われていることを説明する。

数値予報

コンピュータを使って、**将来の天気を予報** (シミュレーション) すること

例) 天気予報や台風の予報など

数値実験

コンピュータを使って、**実際の気象状況とは異なる条件で天気をシミュレーション**すること

例) 自然災害のシミュレーション

●数値予報と数値実験の違いの説明

普段見ている天気予報で用いているのは数値予報で、授業で行うのは実際にはない地形などでどのような気象状況になるのかを実験する、数値実験であることを確認する。

【4】

海面温度を変化させた時、
台風はどのように変化するの？



【5】

●数値実験で「台風」を対象とすることと、海面温度を変化させることを説明する

数値実験では、地球上の様々な気象条件を変更することができるが、今回は、実際に観測された海面温度を変えたときの台風について実験することを説明する。

2時間の授業構成

- 1時間目
数値予報や数値実験を行っている**コンピュータ**は、どのようなことをしているのか**学習**しよう！
そして、**体験**しよう！
+実験準備（条件設定）をしよう！
- 2時間目
海面温度を変化させると、**台風**がどのように変化するのか考えよう！



【6】

●授業の流れの確認

1時間目は、数値予報や数値実験を行っている**コンピュータ**がどのようなことをしているのかを**学習**し、**体験**することを確認する。そして、授業の最後には、数値実験の**条件設定**をすることを確認する。

今日の課題

数値実験のしくみを学び、
数値実験を体験しよう！



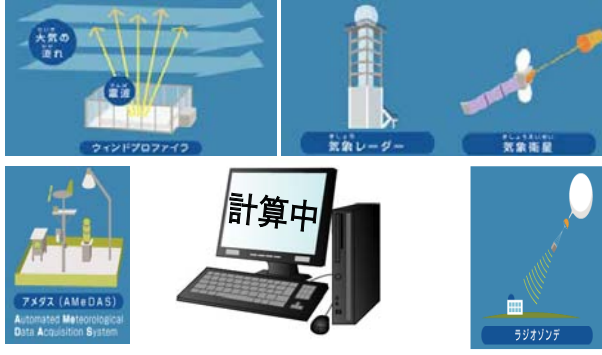
【7】

●課題提示

1時間目の課題を提示する。

数値予報・数値実験のしくみ

観測データをもとに、コンピューターで将来の気象状況を計算して求める



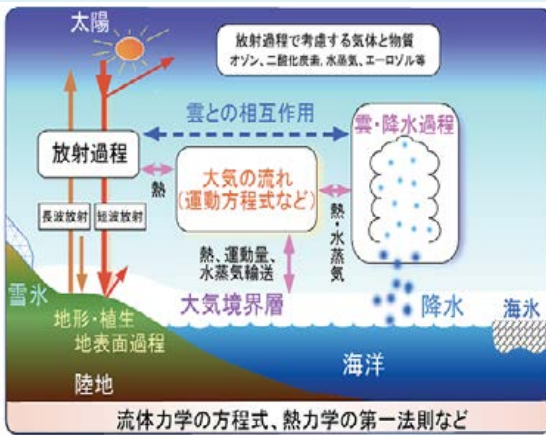
【8】

●数値予報・数値実験のしくみの説明

再度、数値予報や数値実験のしくみを説明する。

▲世界中で観測された気温や風、気圧などのデータをコンピューターに入力して将来の気象状況をコンピューターに計算して求めてもらうことを数値予報・数値実験と言います。

コンピューターが計算しているもの



【9】

●コンピューターが計算している内容を図で確認する

コンピューターがシミュレーション結果を出すために考慮している計算内容を図で説明する。

コンピューターが計算しているもの

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \theta}{\partial t} = \text{adv.} \theta + \text{Turb.} \theta - \bar{\rho} w \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} + \frac{\bar{\rho} C_p}{C_p \pi} (CN_{vc} - EV_{cv} - EV_{vr})$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} u}{\partial t} = -\bar{\rho} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\partial p'}{\partial x} + \bar{\rho} (f_s v - f_c w) + \text{Turb.} u$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} v}{\partial t} = -\bar{\rho} \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial p'}{\partial y} - f_s \bar{\rho} u + \text{Turb.} v$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} w}{\partial t} = -\bar{\rho} \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \frac{\partial p'}{\partial z} + \bar{\rho} \text{Buoy.} w + f_c u + \text{Turb.} w$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} C_r}{\partial t} = \text{Adv.} q_r + \text{Turb.} q_r + \bar{\rho} (CN_{cr} - CL_{cr} - EV_{rv}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} U_r q_r)$$

●コンピューターが行っていることを方程式で確認する。

前のスライドで見た図を数式で表すと、スライドのような式になると説明する。また、ここには書ききれないほど多くの計算を行っていることも説明する。

【10】

移流方程式 (温度の計算)

$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x}$
 $T =$ 温度 (°C)
 $u =$ 風速 (m/s)
 $t =$ 時間 (s)
 $x =$ 場所 (m)

【11】

●移流方程式の説明

数値予報モデルで考慮されている計算(方程式)の中の1つである、移流方程式の意味を説明する。

▲時刻 t_0 、つまり現在の時刻の温度が、風 u が吹くことによって、 x 秒後ではどのような温度になっているのかを求めるのが移流方程式です。

移流方程式 (温度の計算)

$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x}$

【数学の復習】

変化の割合 = $\frac{Y\text{の増加量}}{X\text{の増加量}}$
 = (線の)傾き

$\frac{\partial y}{\partial x}$ = 点(ある地点)の
 変化の割合

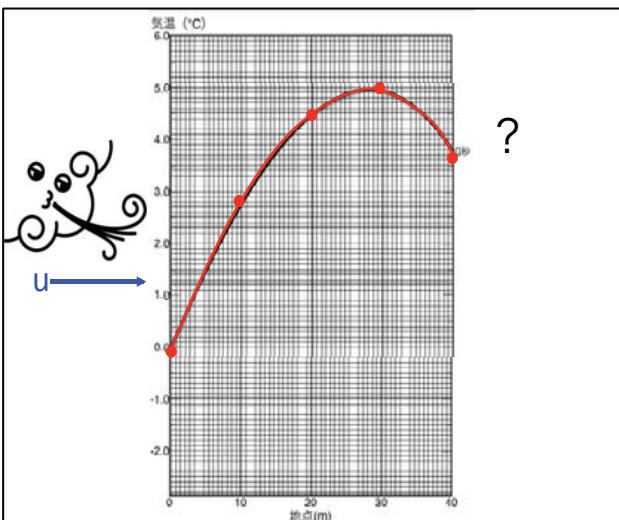
Δxを限りなく0に近づける

【12】

●偏微分(∂:ラウンド)の学習

数学で学習した、1次関数のグラフの傾き(変化の割合)を例に出して説明する。『∂』は、Δxを限りなく0に近づけた時の変化の割合、つまり、ある地点における変化の割合を表しているということを説明する。

▲変化の割合ってどうやって求めるか覚えていますか？



【13】

●移流方程式の計算結果のグラフから将来の温度分布を予想する

0秒のときの温度分布を提示し、10秒後はどのように変化するかを予想させる。

▲10秒後のグラフはどのようなものだと思いますか？

移流方程式 (温度の計算)

$$T(x_0, t_1) = T(x_0, t_0) - \frac{u \times \Delta t}{2\Delta x} \times (T(x_1, t_0) - T(x_{-1}, t_0))$$

次の時間の温度 (°C) = 現在の温度 (°C) - $\frac{\text{(風速)} \times \text{時間}}{\text{距離}} \times (\text{現在の右隣温度 (°C)} - \text{現在の左隣温度 (°C)})$

t_0 現在 0m 10m 20m 30m 40m
 t_1 次の時間
 …

【14】

●移流方程式を手計算で求める方法を説明する。

コンピューターが行っている計算を自分たちで解くことを確認する。

x_0 での次 (2秒後) の温度を求めるためには、定数項に現在の右隣の温度から現在の左隣の温度をひいたものをかけ、現在の温度を足す、というものになっていることを説明する。

移流方程式 (温度の計算)

$$T(x_0, t_1) = T(x_0, t_0) - \frac{u \times \Delta t}{2\Delta x} \times (T(x_1, t_0) - T(x_{-1}, t_0))$$

$$4.3 = 4.5 - 0.1 \times (4.9 - 2.7)$$

Δx	x_{-2}	x_{-1}	x_0	x_1	x_2
Δt	(0m)	(10m)	(20m)	(30m)	(40m)
0秒	0.0	2.7	4.5	4.9	3.8
2秒	-0.5				4.2
4秒	-1.1				4.5
6秒	-1.6				4.8
8秒	-2.1				5.0
10秒	-2.6				5.2

【15】


●計算補助シートの使用法の説明

「10秒後の温度を計算で求めよう！」プリントの表に、計算補助シートを重ねて使うことを説明する。また、2問だけ一緒に計算を解き、解き方を確認する。

これからやること

- ❖ 10秒後の温度まで計算する (表をうめる)。
 - ・ 小数点第2位を四捨五入して、**小数第1位**まで求める。(4.28 → 4.3)
- ❖ 計算が終わったら挙手する。
 - ・ かかった時間を表の下に記入する。
- ❖ 計算した値を**グラフ**に記入する。

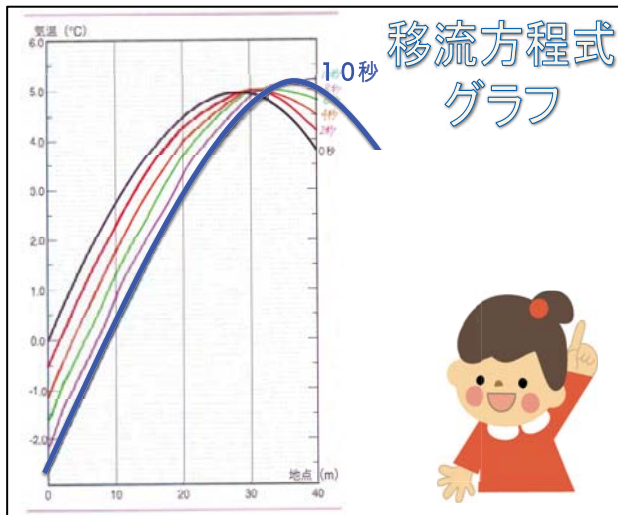
2人1組または、3人1組で協力して頑張ろう！



【16】

●これから行うことを確認する。

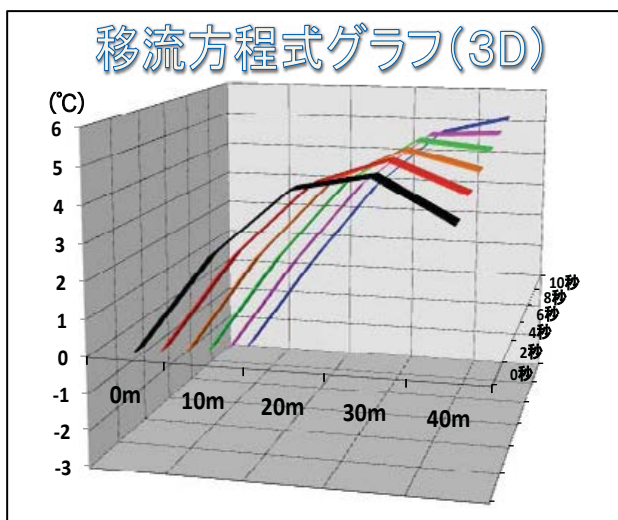
移流方程式を解くときの注意点を説明し、計算が終わった後に計算にかかった時間を書き込み、グラフを記入することを確認する。



【17】

● グラフの答え合わせ

全てのグループが計算し終わったところで、記入したグラフの答え合わせを行う。



【18】

● 移流方程式の 3D グラフから、温度分布がどのように変化しているのか確認する。

平面図のグラフだけではなく、3D のグラフを提示することによって、0 秒の時の温度分布が風によって単純に流されているのではないことを理解させる。

昔はコンピューターがない！
→ 数値予報はできなかった…。

イギリスのリチャードソン

「6万4千人が大きなホールに集まって、一斉に計算を行えば、実際の進行と同程度の速さで予報をすることができる！」

数値予報ができるきっかけになった！

10秒×6×60=1時間だから・・・



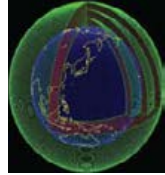
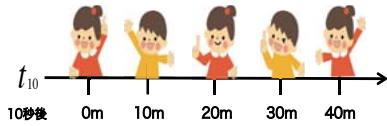
● リチャードソンの話

昔はコンピューターがなかったため、手計算で予報をしようとしたリチャードソンの話をする。また、このリチャードソンの考えた方法がきっかけとなり、現在行われている数値予報ができたことにも触れる。

【19】

地球全体の数値予報

- 世界中の数値予報をするとなると・・・
コンピューターが必要になる。



- 速く計算できる、スーパーコンピューター
『京』：1秒間に1京回の計算をする。
世界の全人口70億人が24時間不眠不休で1秒に1回のペースで計算を続けて、約17日間かかる…。

【20】

●手計算とコンピューターの比較

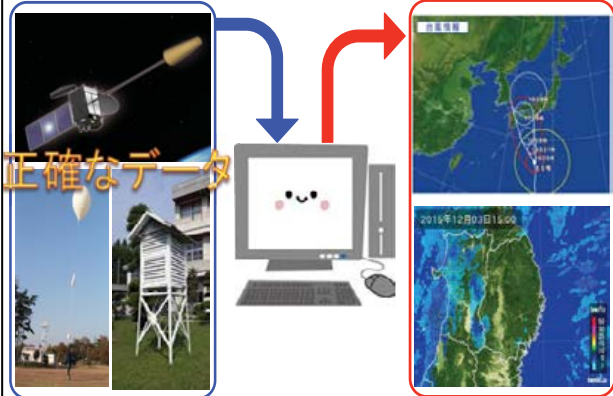
天気予報などを出すために用いられているスーパーコンピューターは、莫大な量の計算を行っていることを確認し、PCの有用性を実感させる。

▲1秒間の計算をするのに、17日間もかかってしまったら、予報になりませんよね？

数値予報(実験)で重要なこと

観測(初期)データ

天気予報



【21】

●数値予報をするには、初期値(観測値)が必要であることを説明する。

数値実験で最も重要なのは、より正確な観測データを手に入れることであることを説明する。そのため、日本各地や宇宙からなど様々なところで気象観測が行われているということを紹介する。

今日のまとめ

- 一、数値実験(数値予報)は、**方程式**がもとになってできている。
- 二、コンピューターは、**非常にたくさんの計算**をしている。
- 三、**正確な観測データ(初期データ)**が大事である。



●数値予報(数値実験)の仕組みのまとめをする。

【22】

2時間の授業構成

• 1時間目

数値予報や数値実験を行っているコンピュータは、
どのようなことをしているのか学習しよう！

そして、体験しよう！

+実験準備(条件設定)をしよう！



• 2時間目

海水面温度を変化させると、台風がどのように
変化するのか考えよう！

【23】

実験の設定をしよう！

パソコンで設定しなければならないこと

1、領域設定

2、時間設定

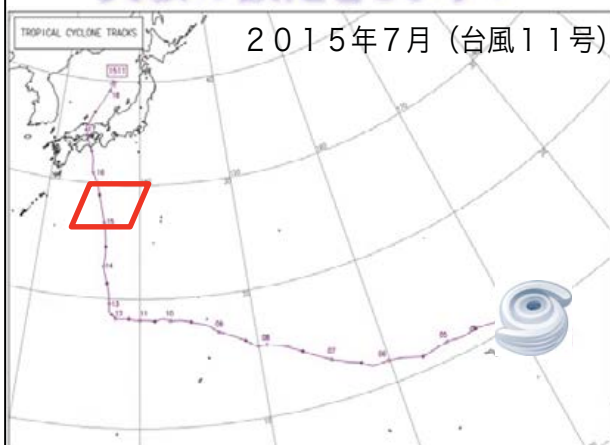
3、海水面の温度設定

台風があるところに
領域を合わせよう！



【24】

実験の設定をしよう！



【25】

●授業の流れの再確認

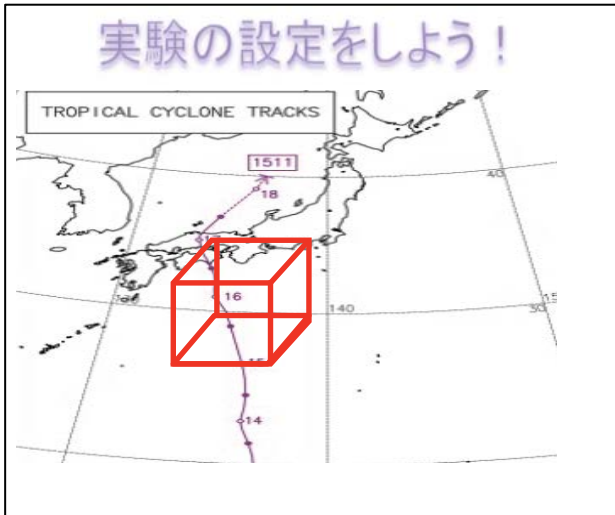
▲みなさんの目の前にあるパソコン
を使って数値実験の条件設定をして
もらいます。

●数値実験の設定に必要な領域設定 の説明

条件設定の1つ目として、コンピ
ューターに計算してもらおう領域を設
定することを伝える。

●台風の経路図で実験する領域を確 認する。

実際に台風が通過した経路図を見
せ、そのうち赤い枠で囲まれた部分
を実験することを確認する。



【26】

●数値実験で行う領域設定の説明

平面の領域だけではなく、高さ方向も考慮して計算することを説明する。また、台風のおおよその高さも確認する。

▲台風の高さって、何 m くらいあるか知っていますか？

実験の設定をしよう！

パソコンで設定しなければならないこと

- 1、領域設定
- 2、時間設定
- 3、海水面の温度設定

2015年7月15日
9時～21時まで、
計算お願いします！

【27】

●数値実験の設定に必要な時間設定の説明

指定した領域上を通過している台風は、2015年7月15日9時～21時であるため、この12時間分を計算してもらうことを説明する。

実験の設定をしよう！

パソコンで設定しなければならないこと

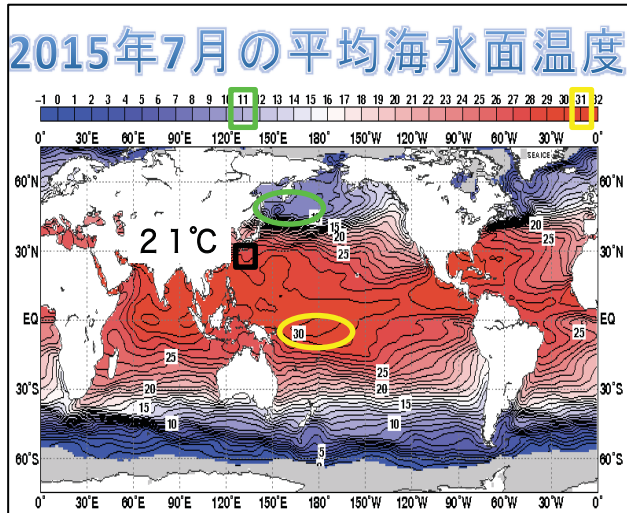
- 1、領域設定
- 2、時間設定
- 3、海水面の温度設定

海水面温度を変えて、
数値実験に挑戦だ！

【28】

●数値実験で設定する海水面温度の説明

今回の実験では、海水面温度を変えた時の台風について考えていくことを再確認する。



【29】

●設定する海面温度の確認

条件設定する 2015 年 7 月の平均海面温度を表した図を示し、実験する領域の海面温度がもともと 21℃であることを確認する。そして、今回は、北海道周辺の海面温度（11℃）、または、台風が発生する赤道近くの海面温度（31℃）に設定することを説明する。

実験の設定をしよう！

1～5班

実際の海面温度よりも

10℃低くする実験



6～10班

実際の海面温度よりも

10℃高くする実験



【30】

●数値実験するグループ分け

実際の海面温度よりも 10℃下げるグループと 10℃あげるグループを発表する。

このスライドは附属中学校用のスライドである。上田中学校では、10℃下げるグループを 1～4 班とし、10℃上げるグループを 5～8 班とした。

みんなの実験結果を見てみよう！

❖自分たちの結果だけではなく、**他の班の実験結果**（他の時間帯の結果）を見てみよう！

※下から 12時・15時・18時・21時の結果になっています。

❖まとめの、

「海面温度を 10 度低くすると、」

「海面温度を 10 度高くすると、」

に続く文章を考えて、**まとめを完成させよう！**



●全ての班の実験結果を見る

他の班の実験結果を見ることによって、海面温度を変化させた時の台風の変化について考えることを確認する。

【31】

7. 1. 4 使用した教材

授業で使用した教材は、以下の通りである。

- ・「10秒後の温度を計算で求めよう！」プリント（図7-2）

移流方程式を手計算で求める際に使用したプリントである。3地点10秒後の温度を2秒間隔で求める表と、方眼用紙に初期値の（0秒）の温度分布を記入したグラフを用意した。このプリントを各班に2枚ずつ配布し、2人1組で協力して計算するようにした。

- ・計算補助シート（図7-3）

「10秒後の温度を計算で求めよう！」プリントの表に重ねて使うシートで、どの値を用いてどのような順番で計算していけばいいのかを、色分けして示している。表のマスと同じ大きさの穴をあけていて、表に重ねると計算するのに必要な値しか見ることができないようにした（図7-4）。

- ・学習プリント1組・2組用（図7-5）

2時間目の授業で用いる学習プリントである。実験結果から読み取れる要素を「中心気圧」「降水量」「大きさ」とし、空欄の欄には、自由に気象要素などをいれてもらう。

- ・学習プリント3組・4組用（図7-6）

1組・2組の授業で、生徒から「大きさ」が抽象的でわからない、という意見があったため、「大きさ」を「規模」に、空欄は、「風力・風向」に変更した。

- ・学習プリントA組・B組用（図7-7）

「中心気圧」「降水量」「規模」「風力・風向」それぞれの結果に対して考察をするのではなく、実験結果全体に対して考察できるように、新たに記入するスペースを確保した。

また、生徒が実験した時間帯以外の2日間分の台風のシミュレーション結果を見て、台風の動向や特徴を読み取る演習問題を用意した。シミュレーション結果は、「Web-CReSS for Education」の「海上の台風（2015年7月16日の例）-結果だけを見る-」「海上の台風（2015年7月17日の例）-結果だけを見る-」をそれぞれ用いる。

- ・実験結果の表示要素説明プリント（図7-8）

生徒たちが見る実験結果と同じ時間における実際のシミュレーション結果を用いて、実験結果で表示されている色や矢印が、何を表しているのかを説明したプリントを用意した。実験結果と実際の台風のシミュレーション結果は画面上でも確認できるが、手元でも確認できるようにと、実際のシミュレーション結果の図を用いた。

- ・実験結果まとめ比較表（図7-9）

各班が見ているのは、温度変化させたときの、ある時間帯の台風の様子（実験結果）しか見ることができない。そこで、すべての班の実験結果と実際の台風のシミュレーション結果を下から時系列に並べた、比較表を用意した。それぞれ「海面気圧」「地表面降水量」「断面図降水量」の比較表を用意した。

10秒後の温度を計算で求めよう！

組 _____ 班 _____

数値実験で行われている計算の一部を電卓で計算してみよう！

【移流方程式】

$$T(x_0, t_1) = T(x_0, t_0) - \frac{u \times \Delta t}{2\Delta x} \times (T(x_1, t_0) - T(x_{-1}, t_0))$$

将来の温度 = 現在の温度 - 定数 × (右隣の温度 - 左隣の温度)

□ = □ - □ × (□ - □)

風速 : $u = 1 \text{ m/s}$
 時間間隔 : $\Delta t = 2 \text{ s}$
 地点間の間隔 : $\Delta x = 10 \text{ m}$

$$\frac{u \times \Delta t}{2 \times \Delta x} = \frac{\square \times \square}{2 \times \square} = \square$$

$\Delta x \backslash \Delta t$	X_{-2}	X_{-1}	X_0	X_1	X_2
	(0m)	(10m)	(20m)	(30m)	(40m)
0 秒	0.0	2.7	4.5	4.9	3.8
2 秒	-0.5				4.2
4 秒	-1.1				4.5
6 秒	-1.6				4.8
8 秒	-2.1				5.0
10 秒	-2.6				5.2

10秒後の温度を計算するのにかった時間 : _____ 分 _____ 秒

図 7-2 「10 秒後の温度を計算で求めよう！」プリント

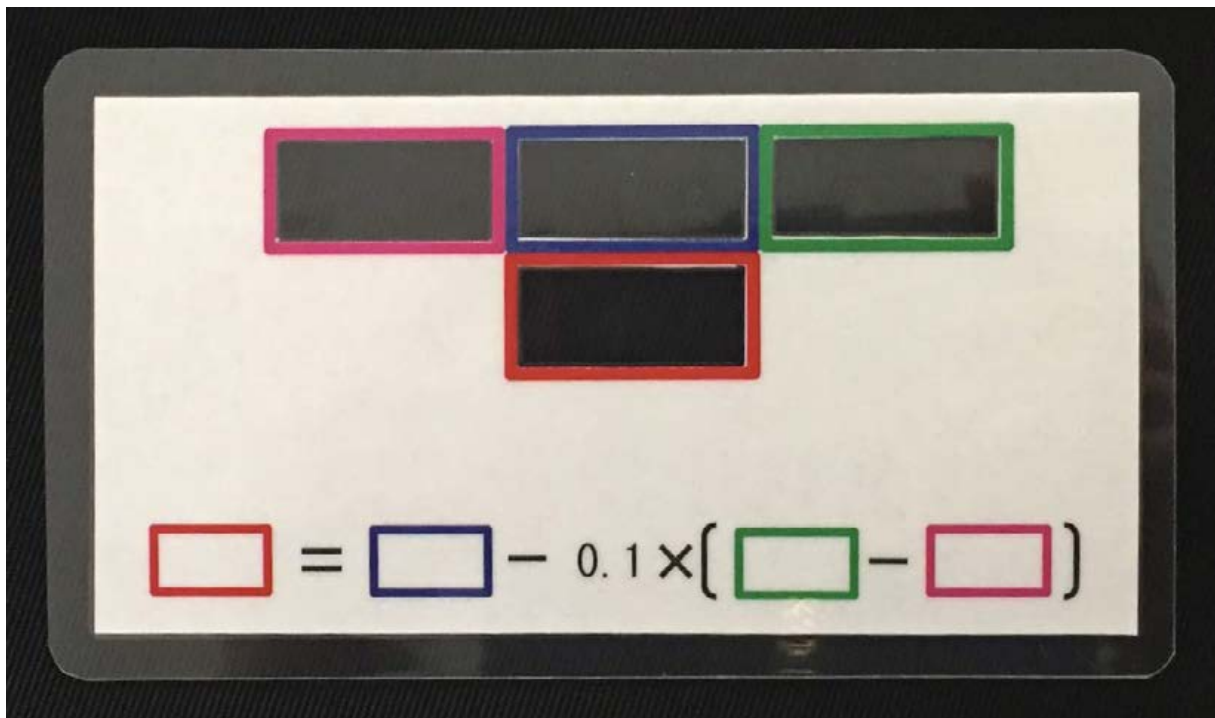


図 7-3 計算補助シート

$\Delta x \backslash \Delta t$	X_{-2} (0m)	X_{-1} (10m)	X_0 (20m)	X_1 (30m)	X_2 (40m)
0 秒		2.7	4.5	4.9	8
2 秒					2
4 秒					5
6 秒					8
8 秒	-2.1				5.0
10 秒	-2.6				5.2

10 秒後の温度を計算するのにかけた時間： 分

図 7-4 計算補助シートを表に重ねている様子

学習プリント

2年 組 番 氏名 _____

課題

予想 自分たちの班の実験：海水面温度を（ 低く ・ 高く ）する

気象要素	実際に起こった 台風と比べて…	理由
中心気圧		
降水量		
大きさ		

結果・考察

気象要素	実際に起こった 台風と比べて…	考察（理由）
中心気圧		
降水量		
大きさ		

まとめ

海水面温度を10度低くすると、
海水面温度を10度高くすると、

図7-5 学習プリント（1組・2組用）

学習プリント

2年 組 番 氏名 _____

課題

予想 自分たちの班の実験：海水面温度を（ 低く ・ 高く ）する

気象要素	実際に起こった 台風と比べて…	理由
中心気圧		
降水量		
規模		
風向・風力		

結果・考察

気象要素	実際に起こった 台風と比べて…	考察（理由）
中心気圧		
降水量		
規模		
風向・風力		

まとめ

海水面温度を10度低くすると、
海水面温度を10度高くすると、

図7-6 学習プリント（3組・4組用）

学習プリント

2年 組 番 氏名 _____

★課題

自分たちの班の実験：海水面温度を10℃（高く・低く）する実験

★実際に起こった台風と比べて、気象要素はそれぞれどうなるのだろう。

気象要素	予想	結果
中心気圧		
降水量		
規模		
風力		

★考察：どうしてそのような結果になったのか考察しよう。

★まとめ

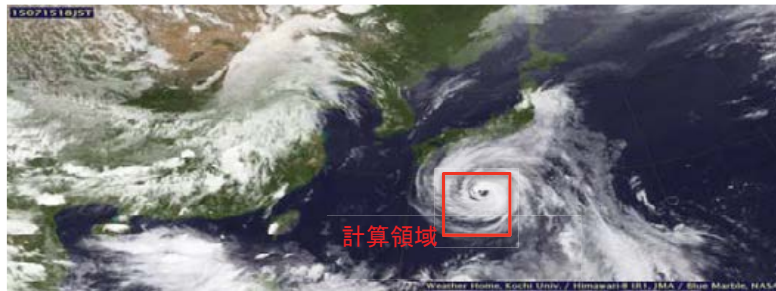
海水面温度を10℃低くすると、
海水面温度を10℃高くすると、

演習問題：2日間のシミュレーション結果から、台風の特徴・動向を読み取ろう。

図7-7 学習プリント（A組・B組用）

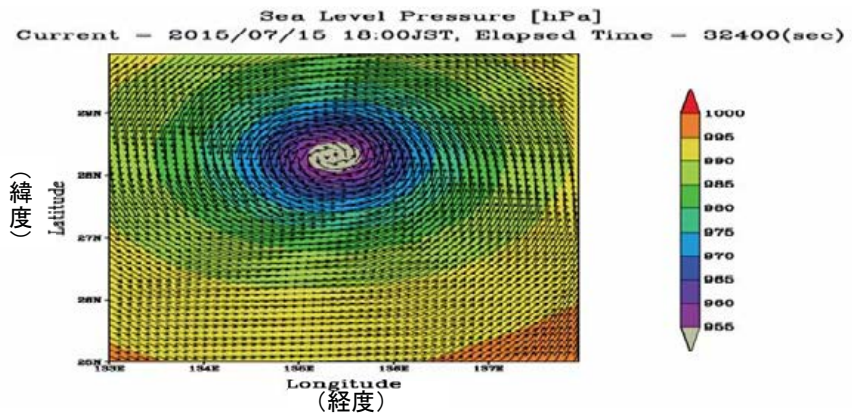
2015年7月15日(18:00)の実際の台風

衛星画像



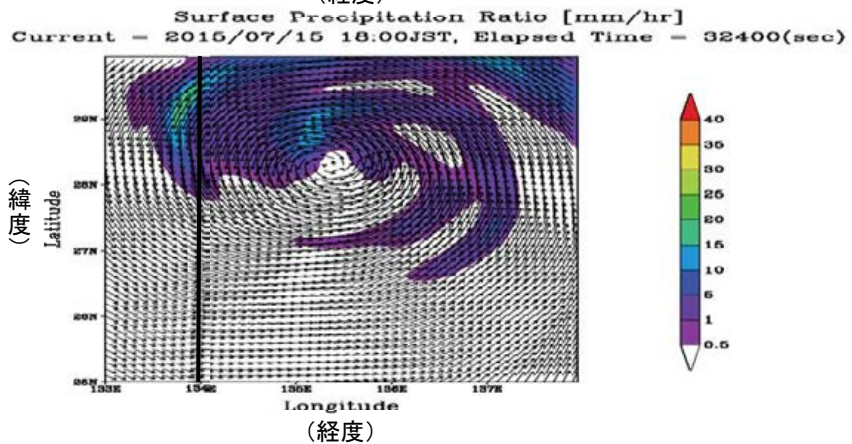
結果その1
(海面気圧)

- ・ 矢印の向き
⇒ 風向
- ・ 矢印の長さ
⇒ 風力の大きさ
- ・ 色
⇒ 気圧 (hPa)



結果その2
(地表面降水量)

- ・ 矢印の向き
⇒ 風向
- ・ 矢印の長さ
⇒ 風力の大きさ
- ・ 色
⇒ 降水量 (mm/時)



結果その3
(断面図雲水量)

- ・ 矢印の向き
⇒ 上下方向の風向
- ・ 矢印の長さ
⇒ 風力の大きさ
- ・ 色
⇒ 雲水量 (水滴量)

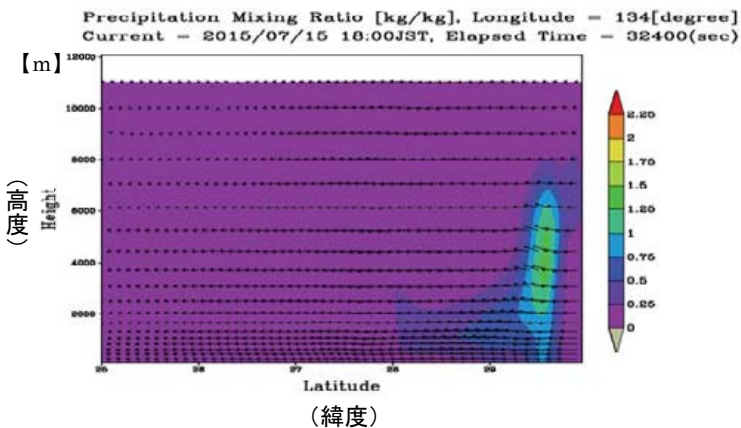


図7-8 実験結果の表示要素説明プリント例(18時の結果)

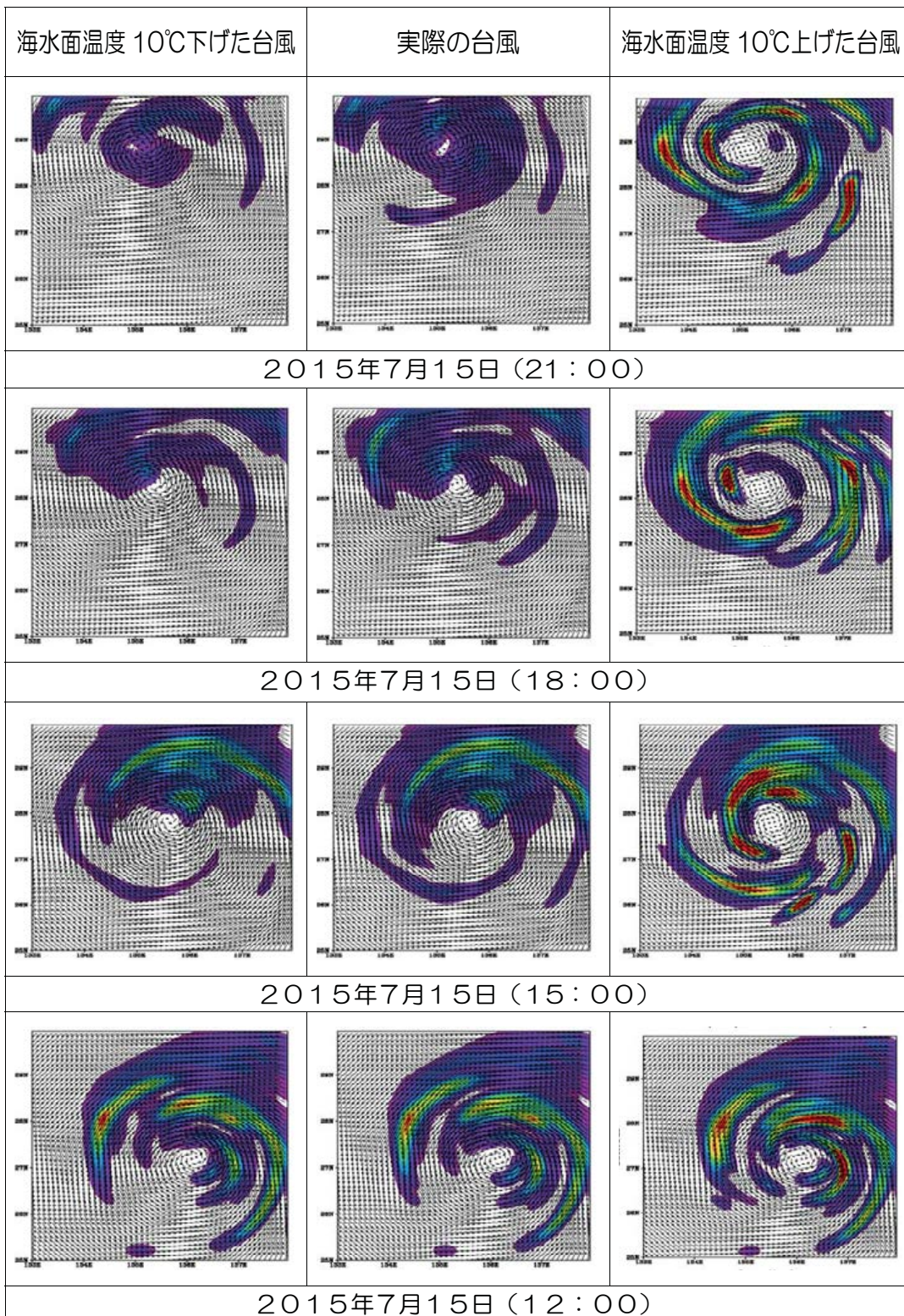


図7-9 実験結果まとめ比較表例（地表面降水量）

7. 1. 5 実際に授業した内容と生徒の反応

以上までに述べた授業構成をもとに、実際に実施した授業内容の詳細や意図、授業を受けている時の生徒の反応や様子などについて、以下に述べる。上田中学校と附属中学校の内容は、ほぼ同様である。

【1時間目】

導入では、数値実験と数値予報がそれぞれ私たちの身近な場所で使われていることや数値実験では、現実にはあり得ないような条件下の気象のシミュレーションをすることができることを説明し、生徒の数値実験に対する関心や意欲を高めるようにした。

1時間目の課題である、数値実験のしくみを学ぶ1つの手段として、NHMの授業同様、生徒に移流方程式を手計算で解かせた。計算をする時には、計算補助シート（図7-3）を使用した。このシートを使うことによって早いグループは3分程で10秒後の温度を解くことができた。多くの生徒が、「シートがあるととても解きやすい」と言っており、補助シートが計算の手助けとなったことが明らかとなった（図7-10）。また、計算が速く終わったことにより、グラフを記入する時間が十分に確保できたため、生徒全員が計算した値をグラフにプロットしてグラフを描くことができ、温度が周りの温度の影響を受けて変化していく様子を実感できていた。

また、10秒後の温度を求めるのにどのくらい時間がかかるのかをストップウォッチで計測した。計算が終わった後に、PCの計算処理能力の話をしたところ、自分たちが10秒後の温度を求めるのに、このくらいの時間がかかったのに対し、コンピューターはこんなに早く計算してくれるのかと、PCの有用性を実感していた。

1時間目の最後には、数値実験の条件設定画面をプロジェクターに投影し、全員一緒に設定をした。その時に、生徒が手計算した領域と数値実験で計算する領域を比較することで、格子概念の理解を図った。

【2時間目】

2時間目の授業では、まず自分たちが設定した実験結果がどのようになっているかを予想した。1組と3組は、予想の理由まで発表してもらったが、2組・4組、A組・B組は、考察の時間を多く取るために、現象の予想のみ（理由なしで）発表してもらった。その後、自分たちの実験結果と実際の台風の様子を見比べて、実験結果となる原因を考察した。初期時刻から3時間後の実験結果は、あまり変化が見られなかったため、どのように考察すればいいのかわからない、と悩んでいた。その班には、なぜ台風が変化していないのかを考察してもらった。

考察が終わった後は、予想で理由を発表しなかった2組・4組・A組・B組は時間に余裕があったため、プロジェクターの前にそれぞれの班の実験結果を映して、

みんなの前で結果と考察を発表した。1組と3組は、結果と考察をその場（自分の机）で発表した。

全ての結果が出揃ったあと、実験結果比較表（図7-9）を配布し、全ての班の実験結果からどのようなことが言えるかをまとめて記入した。そのまとめを何人かに発表してもらい、そのまとめをクラス全体のまとめとした（7.1.6参照）。

A組・B組は、まとめをした後に、生徒が実験した時間帯以外（2日間分）の台風のシミュレーション結果を見て、台風の動向や特徴を読み取る演習問題に取り組んだ。海上の台風だけではなく、日本列島に上陸し、徐々に衰退していく台風を、気圧や降水量の変化によって読み取ることができていた。

授業の最後には、伊勢湾台風の3D映像（名古屋大学水循環研究センター加藤雅也氏作成）を見せたところ、「台風を立体的に見ることができてわかりやすかった」などといった声上がり、シミュレーションの有用性を感じていた。



図7-10 補助シートを使って移流方程式を解いている様子

学習プリント

2年 3組 ■番 氏名 ■■■■■

課題

日本列島周辺の海面温度を変化させると、台風はどのように変化するのだろうか。

予想 自分たちの班の実験：海面温度を（ 低く ・ 高く ）する

気象要素	実際に起こった台風と比べて…	理由
中心気圧		
降水量	多くなる	上昇気流によって発達し、雲ができやすい。
規模	大きくなる	上昇気流が起こりやすい
風向・風力	変化なし・強くなる	〃

結果・考察

気象要素	実際に起こった台風と比べて…	考察（理由）
中心気圧	低くなる	海水の温度が上昇し、海水の蒸発量が多くなった。
降水量	多くなる	上昇気流によって発達し、雲ができやすくなった。
規模	大きくなる	上昇気流が起こりやすい
風向・風力	変化なし・強くなる	〃

まとめ

海面温度を10度低くすると、海水の蒸発が減り、降水量が少なくなる。また上昇気流が起こりにくくなるため中心気圧は高くなり、規模は小さく風力も弱くなる。しかし風向は変わらない。

海面温度を10度高くすると、海水の蒸発が増え、降水量が多くなる。また上昇気流が起こりやすくなるため、中心気圧は低くなり、規模は大きく風力も弱くなる。しかし風向は変わらない。

図7-11 生徒が記入した学習プリント（3組）

学習プリント

2年 B 組 番 氏名

★課題

日本列島周辺の海面温度を変化させると台風はどのように変化するのだろうか。

自分たちの班の実験：海面温度を 10°C （高く・低く）する実験

★実際に起こった台風と比べて、気象要素はそれぞれどうなるのだろう。

気象要素	予想	結果
中心気圧	高くなる	高くなる
降水量	少ない	少ない
規模	小さい	小さい
風力	弱い	弱い

★考察：どうしてそのような結果になったのか考察しよう。

- ・低いと水蒸気の蒸発量は少なくなるから、
- ・気圧が低くなる → 周りの気圧の差が大きくなる → 上昇気流発生

★まとめ

海面温度を 10°C 低くすると、海水の蒸発量が少なくなり、それが原因で台風の規模は小さくなる。そして気圧が高くなり、周りの気圧に差ができて下降気流が発生する。

海面温度を 10°C 高くすると、海水の蒸発量が多くなり、それが原因で台風の規模は大きくなる。そして気圧が低くなり、周りの気圧に差ができて上昇気流が発生する。

演習問題：2日間のシミュレーション結果から、台風の特徴・動向を読み取ろう。

- ・上陸すると雲の量が減り、雨は少なくなる
- 勢力弱くなる
- 温帯低気圧

図 7-12 生徒が記入した学習プリント (B 組)

7. 1. 6 各クラスのみとめ

今回の授業では、生徒たちが実験結果や考察をもとに、自分でまとめを考えさせた。そして、代表者に発表してもらったまとめをクラス全体のまとめとした。

計算開始時刻から12時間後（2015年7月15日21時）の、実際の海面温度のシミュレーション結果・海面温度を10℃上げた結果・10℃下げた結果をそれぞれ示した後、クラスごとに生徒が考えたまとめを以下に示す。

・実験結果

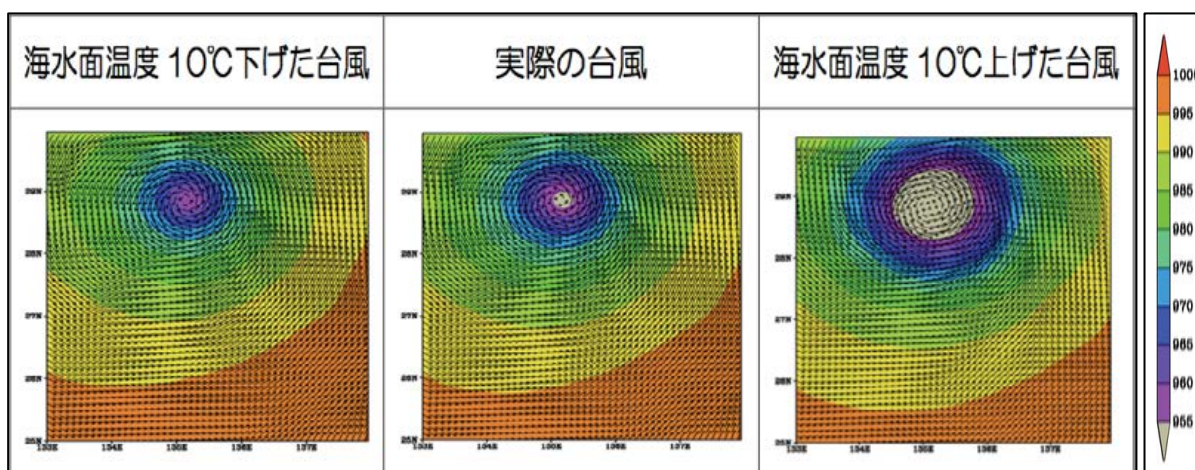


図7-13 実験結果その1（海面気圧）

海面温度を下げると空気が収縮するため、下降気流が発生して中心気圧が高くなり、海面温度を高くすると空気が膨張するため、上昇気流が発生して中心気圧が低い部分が大きくなっている様子が見える。

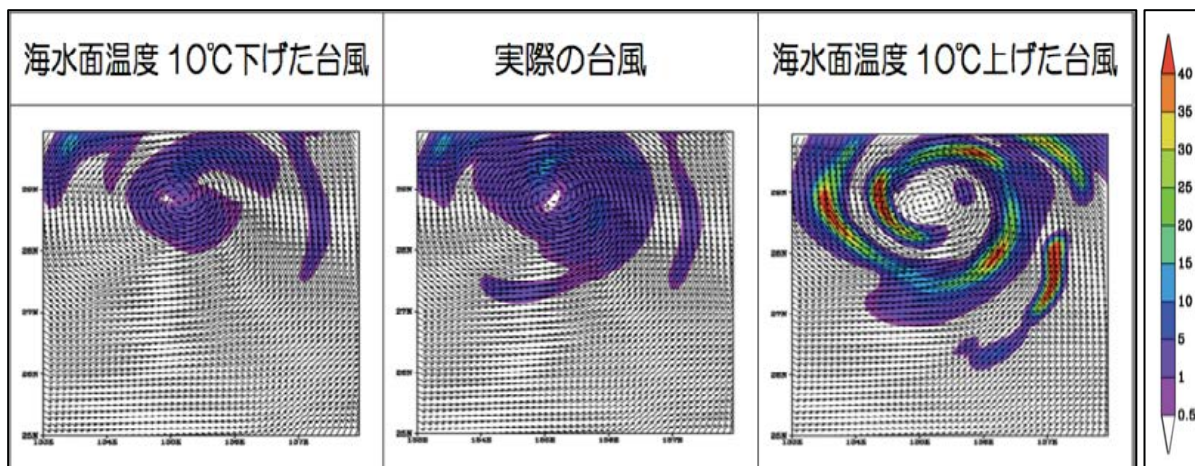


図7-14 実験結果その2（地表面降水量）

海面温度を下げると、海からの蒸発量が少なくなるのに伴って地表面降水量が少なくなり、海面温度を上げると海からの蒸発量が多くなるのに伴って地表面降水量が多くなっているのが確認できる。

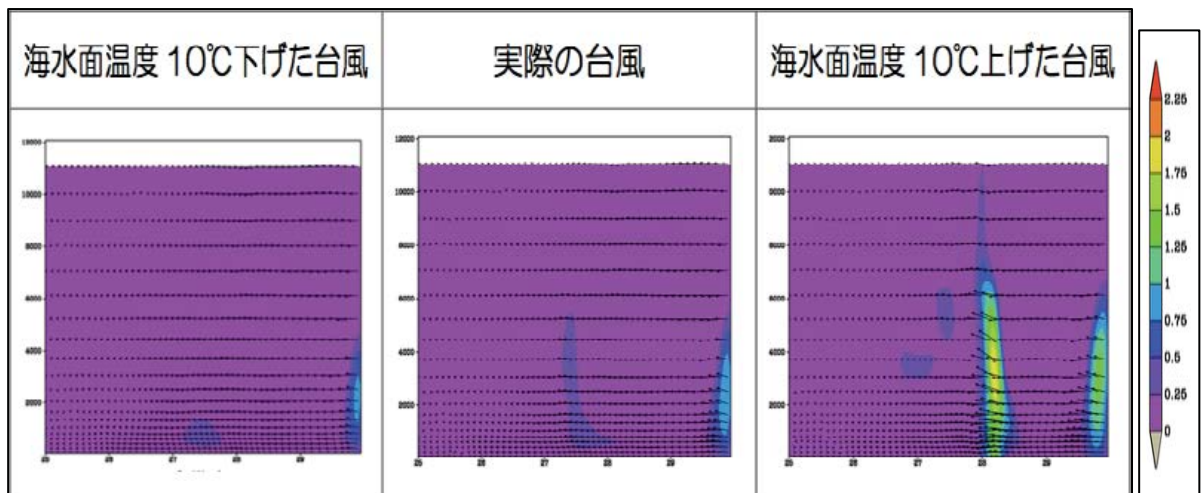


図 7-15 実験結果その 3（断面図雲水量）

断面図は、東経 134 度、北緯 25 度～30 度の領域である。

海水面温度を下げると、蒸発量が少なくなるため、元の海水面温度のときよりもやや雲水量が少ないのがわかる。海水面温度を上げると蒸発量が多くなるため、雲水量が多くなっているのがわかる。また、海水面温度を高くした結果で、風向・風力を表している矢印が上向きになっていることから、上昇気流が発生していることがわかる。

・生徒のまとめ

【1組】

海水面温度を 10 度低くすると、中心気圧は高くなり、降水量は少なくなり、台風の大きさは小さくなる。また、時間が経つにつれて変化が大きくなる。

海水面温度を 10 度高くすると、中心気圧は低くなり、降水量が多くなり、台風の大きさは大きくなる。

【2組】

海水面温度を 10 度低くすると、中心気圧が高くなったり、降水量が少なくなるなど、台風の威力が下がる。また、大きさも小さくなっているため、台風が影響を与える範囲も狭くなる。

海水面温度を 10 度高くすると、中心気圧が低くなり、降水量も増えるため台風は強くなる。また、気圧が低い部分も広がっているため、台風は大きくなる。

【3組】

海水面温度を 10 度低くすると、海水の蒸発が減り、降水量が少なくなる。また

上昇気流も起きにくくなるため中心気圧は高くなり、規模は小さく風力も弱くなる。しかし、風向は変わらない。

海水面温度を 10 度高くすると、海水の蒸発が増え、降水量が多くなる。また上昇気流が起こりやすくなるため中心気圧は低くなり、規模は大きく風力も強くなる。しかし、風向は変わらない。

【4組】

海水面温度を 10 度低くすると、中心気圧は高く、降水量は少なくなる。規模が小さくなるから穏やかな台風になる。

海水面温度を 10 度高くすると、中心気圧は低く、降水量は増える。また、規模は大きくなる。だから激しい台風となる。

【A組】

海水面温度を 10 度低くすると、蒸発量が少なくなることで、降水量、規模が小さくなり、風力は弱まる。気温の低い空気は密度が高く下降気流が発生するので中心気圧は高気圧である。

海水面温度を 10 度高くすると、蒸発量が多くなることで、降水量、規模が大きくなり、風力は強くなる。気温の高い空気は密度が低く上昇気流が発生するので中心気圧は低気圧である。

【B組】

海水面温度を 10 度低くすると、空気が収縮し、密度が大きくなる。また、気圧が大きくなり、周りとの差ができ、下降気流になり降水量が少なくなる。また、海面温度が下がり水蒸気が減り、雲ができにくくなり、規模は小さくなる。

海水面温度を 10 度高くすると、空気が膨張し、密度が小さくなる。また、気圧が小さくなり、周りとの差ができ、上昇気流になり降水量が多くなる。また、海面温度が上がり水蒸気が増え、雲ができ、規模も大きくなる。

以上のように、どのクラスも実験結果を正確に読み取り、台風の変化について捉えることができた。特に、3組・A組・B組は、理由を交えてまとめを書いており、台風の勢力が大きくなる条件や衰退していく条件などを理解することができたと考えられる。また、どのクラスにおいても、クラス全体のまとめに自分の言葉を追加してまとめをプリントに記入している生徒もいた。このことから、生徒たちは海陸風の変化における台風の変化やその原因について理解できたのだと考える。

7. 2 プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察

7. 1までに記述した授業を行ったことで、授業前後に数値実験に関する理解や台風の現象理解に差が生じるのかを明らかにするため、プレテスト・ポストテストを実施した。

7. 2. 1 問題内容

プレテストとポストテストは、全部で20問の○×問題である。15問は、数値実験や台風に関する問題を出題し、残り5問は今回の授業に関係のない気象に関する問題を出題した。

問題の内容は、表7-4、表7-5の通りである。プレテストとポストテストで質問している内容はどちらも同じであるが、問題文の言葉を入れ替えたりすることで、生徒がプレテストの答えを暗記していて、それをそのままポストテストで答えることがないようにした。問題文が変えた設問は、3・5・7・9・16・17・18・20の計8問である。番号に網かけをしているものが、今回の授業に関する問題である。

※10問目の「上田中学校で～」は、附属中学校のテストでは、「附属中学校で～」という文言に変更した。

表 7-4 プレテスト

	問題
1	寒気が暖気の下にもぐりこみ、暖気をおし上げながら進んでいく前線を、寒冷前線という。
2	水蒸気が凝結し始めるときの温度を、露点という。
3	地上では、陸風は海から陸に向かって吹き、海風は陸から海に向かって吹く。
4	台風とは、熱帯地方で発生する小さな低気圧があたたかい海上で発達したものである。
5	日本列島にできる停滞前線は、秋雨前線だけである。
6	現在、気象庁で行われている天気予報は、コンピュータによる数値予報が中心となり、その他の観測データを用いて、より精度を向上させている。
7	24 時間後の天気を予報し、その現象を見るためには、実際の計算実行時間（実時間）で 24 時間行う必要がある。
8	数値予報を行うためには、その地域の気象観測データが必要である。
9	気象のコンピュータシミュレーションでは、時間間隔や領域（距離）間隔を大きく設定した方が、精度の良い結果が得られる。
10	上田中学校で朝 9 時の気温を計ったところ、0℃でした。朝 10 時にもう一度気温を計ったところ、5℃でした。このとき、朝 11 時の気温は 10℃である。
11	天気（気象）の状態は、方程式（計算）を 1 つ解くことで推測することができる。
12	日本では、日本各地域の天気が分かればいいので、日本付近の気象観測のみを行っている。
13	日本列島付近の上空を西から東へ向かう大気の動きを偏西風という。
14	台風の日の中では、風が弱く、雨が降っていない状況が多い。
15	台風全体の暴風域（強風域）では、どこでも雨が降っている。
16	日本の周りの海水温度が高くなると、台風は衰退し（熱帯低気圧になり）やすい。
17	台風が日本列島に上陸すると、水蒸気の補給が少なくなり、温帯低気圧に変化する。
18	台風は、時計回り（右回り）に風が吹き込む。
19	台風の雲の高さは、約 10 km である。
20	台風は中心（目）に向かうほど、気圧が高くなっている。

表 7-5 ポストテスト

	問題
1	寒気が暖気の下にもぐりこみ、暖気をおし上げながら進んでいく前線を温暖前線という。
2	水蒸気が凝結し始めるときの温度を、露点という。
3	地上では、海風は海から陸に向かって吹き、陸風は陸から海に向かって吹く風である。
4	台風とは、熱帯地方で発生する小さな低気圧があたたかい海上で発達したものである。
5	日本列島にできる停滞前線は、梅雨前線と秋雨前線である。
6	現在、気象庁で行われている天気予報は、コンピュータによる数値予報が中心となり、その他の観測データを用いて、より精度を向上させている。
7	24 時間後の天気を予報し、その現象を見るためには、実際の計算実行時間（実時間）で 24 時間行う必要はない。
8	数値予報を行うためには、その地域の気象観測データが必要である。
9	気象のコンピュータシミュレーションでは、時間間隔や領域（距離）間隔を小さく設定した方が、精度の良い結果が得られる。
10	上田中学校で朝 9 時の気温を計ったところ、0°Cでした。朝 10 時にもう一度気温を計ったところ、5°Cでした。このとき、朝 11 時の気温は 10°Cである。
11	天気（気象）の状態は、方程式（計算）を 1 つ解くことで推測することができる。
12	日本では、日本各地域の天気が分かればいいので、日本付近の気象観測のみを行っている。
13	日本列島付近の上空を西から東へ向かう大気の動きを偏西風という。
14	台風の目の中では、風が強く、雨が降っている状況が多い。
15	台風の暴風域（強風域）では、どこでも雨が降っている。
16	日本の周りの海水温度が低くなると、台風は衰退し（熱帯低気圧になり）やすい。
17	台風が日本列島に上陸すると、水蒸気の補給が多くなり、台風の大きさが大きくなる。
18	台風は、半時計回り（左回り）に風が吹き込む。
19	台風の雲の高さは、約 10 km である。
20	台風は中心（目）に向かうほど、気圧が低くなっている。

7. 2. 2 テスト結果

プレテスト・ポストテストで授業に関係する15項目の平均点は、表7-6に示す。

表7-6 各クラスの平均点（15点満点）

	プレテスト（点）	ポストテスト（点）
1組（n=33）	10.5	11.4
2組（n=36）	9.7	11.4
3組（n=34）	10.3	11.9
4組（n=33）	10.3	11.6
A組（n=38）	10.4	12.7
B組（n=39）	10.6	12.4
上田中学校（n=136）	10.2	11.6
附属中学校（n=77）	10.5	12.6

授業前から授業後を比べると、最低でも0.9点、最大1.9点、平均点が上がるという結果となった。一方、プレテストの結果は、クラス間で大きな差はないが、ポストテストの結果では附属中学校の点数が高い傾向にあり、上田中学校内でもクラスによって点数に差があった。これらの差の有無は、統計的にも有意であるのかどうかを調査するために、統計分析を行うことにした。その結果を7. 2. 3以降に示す。

7. 2. 3 初期条件の検証

授業を行う前の理解度（プレテストの結果）に差があるかどうかを確かめるために、危険率5%（信頼度95%）で、t検定を行った。上田中学校はそれぞれのクラス同士の比較、附属中学校はA組とB組の比較をそれぞれ行い、最後に上田中学校4クラスと附属中学校2クラスの比較を行った。

表7-7 授業前の理解度の検証

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値（両側確率）
1組と2組	なし	<u>1.61</u>	2.00	0.113
		<u>1.61</u> < 2.00		0.05 < 0.113
1組と3組	なし	<u>0.32</u>	2.00	0.749
		<u>0.32</u> < 2.00		0.05 < 0.749
1組と4組	なし	<u>0.36</u>	2.00	0.00345
		<u>0.36</u> < 2.00		0.05 < 0.719

2組と3組	なし	$\underline{-1.07}$	2.00	0.287
		$ 1.07 < 2.00$		$0.05 < 0.287$
2組と4組	なし	$\underline{-1.25}$	2.00	0.215
		$ 1.25 < 2.00$		$0.05 < 0.215$
3組と4組	なし	$\underline{-0.0175}$	2.00	0.986
		$ 0.0175 < 2.00$		$0.05 < 0.986$
A組とB組	なし	$\underline{-0.427}$	2.00	0.670
		$ 0.427 < 2.00$		$0.05 < 0.670$
上田と附属	なし	$\underline{-1.12}$	1.97	0.266
		$ 1.12 < 1.97$		$0.05 < 0.266$

以上の結果より、上田中学校のクラス間でも、附属中学校のA組とB組でも有意差は見られなかった。

また、上田中学校と附属中学校を比べても有意差がないという結果となった。

7. 2. 4 授業前後の理解度に関する検証

今回の授業内容で重視している、数値実験に関する理解と台風の理解に有意差があるのかを明らかにするため、危険率1%（信頼度99%）でt検定をした。対象とする問題は、今回の授業に関係している15項目のみである。

表7-8 授業前後の理解度の検証

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.995)	P 値 (両側確率)
1組 (n=33)	あり	$\underline{-3.38}$	2.74	0.00193
		$2.74 < 3.38 $		$0.00193 < 0.05$
2組 (n=36)	あり	$\underline{-4.13}$	2.72	2.13E-4
		$2.72 < 4.13 $		$2.13E-4 < 0.05$
3組 (n=34)	あり	$\underline{-5.07}$	2.73	1.51E-5
		$2.73 < 5.07 $		$1.51E-5 < 0.05$
4組 (n=33)	あり	$\underline{-4.26}$	2.74	0.17E-4
		$2.74 < 4.26 $		$0.17E-4 < 0.05$
A組 (n=38)	あり	$\underline{-6.10}$	2.72	4.56E-7
		$2.72 < 6.10 $		$4.56E-7 < 0.05$
B組 (n=39)	あり	$\underline{-4.82}$	2.71	2.29E-5
		$2.71 < 4.82 $		$2.29E-5 < 0.05$

上田中学校 (n=136)	あり	<u>-8.35</u>	2.61	7.14E-14
		2.61 < 8.35		7.14E-14 < 0.05
附属中学校 (n=77)	あり	<u>-7.73</u>	1.99	3.66E-11
		1.99 < 7.73		3.66E-11 < 0.05

全てのクラスで、授業前後に有意差があるという結果となった。また、上田中学校の4クラス、附属中学校2クラス対象に検定をしても、授業前後の理解度に有意な差があるということがわかった。

7. 2. 5 授業後の理解度の検証

授業前後に有意差があるという結果が得られたが、授業前に比べて授業後の理解度には学校間・クラス間に差があるのかを確かめるために、危険率5%(信頼度95%)で、t検定をした。

表 7-9 授業後の理解度の検証

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値 (両側確率)
1組と2組	なし	<u>0.15</u>	2.00	0.881
		0.15 < 2.00		0.05 < 0.881
1組と3組	なし	<u>-1.33</u>	2.00	0.189
		1.33 < 2.00		0.05 < 0.189
1組と4組	なし	<u>-0.59</u>	2.00	0.556
		0.59 < 1.99		0.05 < 0.556
2組と3組	なし	<u>-1.24</u>	2.00	0.217
		1.24 < 2.00		0.05 < 0.217
2組と4組	なし	<u>-0.639</u>	2.00	0.525
		0.639 < 2.00		0.05 < 0.525
3組と4組	なし	<u>0.683</u>	2.00	0.497
		0.683 < 2.00		0.05 < 0.497
A組とB組	なし	<u>0.827</u>	1.99	0.410
		0.827 < 1.99		0.05 < 0.410
上田と附属	あり	<u>-3.95</u>	1.97	1.08E-4
		1.97 < 3.95		1.08E-4 < 0.05

以上の結果より、上田中学校のクラス間でも、附属中学校のA組とB組間でも、授業後の有意差がないことがわかった。

上田中学校と附属中学校は、授業前には有意差がなかったが、授業後は有意な差があるという結果となった。

7. 2. 6 授業前後の理解度に関する設問ごとの検証

15項目の統計分析で、授業前後に有意差があるという結果となったが、具体的にどの設問項目に有意差があったのかを検証することにした。設問ごとに危険率5%（信頼度95%）でt検定を行い、授業前後に有意差がある内容を検証する。

上田中学校と附属中学校では、授業後に理解度に差があったことから、それぞれ学校別に検証することにした。上田中学校の結果を表7-7に、附属中学校の結果を表7-10に示す。

表7-10 設問別理解度の検証（上田中学校）

設問	有意差	t 値	t 値境界値(0.95)	P 値（上側確率）
4.台風が発生する環境について	あり	<u>-2.37</u>	1.98	0.0190
		$-1.98 < 2.37 $		$0.0190 < 0.05$
6.天気予報の作成方法について	あり	<u>-3.40</u>	1.97	0.893E-4
		$-1.97 < 3.40 $		$0.893E-4 < 0.05$
7. PC の処理能力について	なし	<u>1.32</u>	1.98	0.190
		$1.32 < 1.98$		$0.05 < 0.190$
8.気象観測データの重要性について	なし	<u>-1.47</u>	1.98	0.145
		$ 1.47 < 1.98$		$0.05 < 0.145$
9.数値実験の時間・格子間隔について	なし	<u>-1.18</u>	1.98	0.240
		$ 1.18 < 1.98$		$0.05 < 0.240$
10.気温上昇に伴う将来の気温の求め方	なし	<u>-0.783</u>	1.98	0.435
		$ 0.783 < 1.98$		$0.05 < 0.435$
11.気象状態の求め方について	あり (負)	<u>4.46</u>	1.98	1.70E-05
		$1.98 < 4.46$		$1.70E-05 < 0.05$
12.気象観測データの取得について	なし	<u>0</u>	1.98	1.00
		$0 < 1.98$		$0.05 < 1.00$
14.台風の目の様子について	なし	<u>-0.22</u>	1.98	0.828
		$ 0.22 < 1.98$		$0.05 < 0.828$
15.台風の暴風域の気象について	なし	<u>-1.21</u>	1.98	0.229
		$ 1.21 < 1.98$		$0.05 < 0.229$

16.海水面温度変化による台風変化について	あり	<u>-3.66</u>	1.98	3.65E-4
		$-1.98 < 3.66 $		$3.65E-4 < 0.05$
17.日本列島上陸後の台風について	あり	<u>-4.91</u>	1.98	2.55E-6
		$-1.98 < 4.91 $		$2.55E-6 < 0.05$
18.台風の風の吹き込みについて	あり	<u>-4.84</u>	1.98	3.56E-6
		$1.98 < 4.84 $		$3.56E-6 < 0.05$
19.台風の高さについて	あり	<u>-4.30</u>	1.66	5.82E-6
		$1.66 < 4.30 $		$5.82E-6 < 0.05$
20.台風の中心気圧について	あり	<u>-5.75</u>	1.98	5.79E-8
		$1.98 < 5.75 $		$5.79E-8 < 0.05$

以上の結果から、15項目中7項目が授業前後で有意差があった。有意差がある項目は、ほとんどの項目が台風に関する項目であるため、生徒たちは台風の現象を理解することができたと言える。一方、「気象状態の求め方」の項目では、負の有意差があるという結果となってしまった。

表7-11 設問別理解度の検証（附属中学校A組・B組）

設問	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値（上側確率）
4.台風が発生する環境について	あり	<u>-2.04</u>	1.99	0.0448
		$-1.99 < -2.04 $		$0.0448 < 0.05$
6.天気予報の作成方法について	あり	<u>-3.09</u>	1.98	0.00235
		$-1.98 < 3.09 $		$0.00235 < 0.05$
7. PC の処理能力について	なし	<u>1.58</u>	1.99	0.117
		$1.58 < 1.99$		$0.05 < 0.117$
8.気象観測データの重要性について	なし	<u>-1.22</u>	1.99	0.228
		$ 1.22 < 1.99$		$0.05 < 0.228$
9.数値実験の時間・格子間隔について	なし	<u>-1.35</u>	1.99	0.180
		$ 1.35 < 1.99$		$0.05 < 0.180$
10.気温上昇に伴う将来の気温の求め方	なし	<u>-1.35</u>	1.98	0.181
		$ 1.35 < 1.98$		$0.05 < 0.181$
11.気象状態の求め方について	あり (負)	<u>3.99</u>	1.99	1.49E-4
		$1.99 < 3.99$		$1.49E-4 < 0.05$

12. 気象観測データの取得について	なし	-0.830	1.99	0.409
		0.830 < 1.99		0.05 < 0.409
14. 台風の目の様子について	なし	-1.30	1.99	0.199
		1.30 < 1.99		0.05 < 0.199
15. 台風の暴風域の気象について	なし	-0.815	1.99	0.418
		0.815 < 1.99		0.05 < 0.418
16. 海水面温度変化による台風変化について	あり	-4.30	1.99	4.88E-5
		-1.99 < 4.30		4.88E-5 < 0.05
17. 日本列島上陸後の台風について	あり	-10.1	1.99	1.10E-15
		-1.99 < 10.1		1.10E-15 < 0.05
18. 台風の風の吹き込みについて	あり	-3.73	1.99	3.68E-4
		1.99 < 3.73		3.68E-4 < 0.05
19. 台風の高さについて	あり	-4.32	1.99	4.63E-5
		1.99 < 4.32		4.63E-5 < 0.05
20. 台風の中心気圧について	あり	-5.59	1.99	3.34E-8
		1.99 < 5.59		3.34E-8 < 0.05

附属中学校の結果も、上田中学校の結果と同様に、15項目中7項目が授業前後で有意差があった。また、「気象状態の求め方」の項目が、負の有意差があるという結果も同様である。

7. 2. 7 考察

すべてのクラスにおいて授業前後に有意差があることから、今回の授業を通して、生徒たちの数値実験や台風に関する理解を深めることができたのだと考える。上田中学校と附属中学校は、授業後の理解度に有意な差が見られたが、設問ごとの検定で有意な項目が同じであることから、授業を通して理解が深まった内容は同じであることが明らかとなった。そして、有意差があるとされた項目は、7項目中6項目が台風に関する項目であったことから、台風の現象を深く理解することができたのだと考える。

一方、「天気（気象）の状態は、方程式（計算）を1つ解くことで推測することができる。」という項目で、負の有意差があるという結果になってしまった。この原因として、移流方程式を手計算で解いたことが印象に残り、他にも様々な方程式が存在していることが印象に残らなかったのだと考える。この項目を理解させるためには、手計算が終わったあとに、移流方程式は温度を求める方程式であるため、

天気の状態を求めるためには他の方程式も必要であることを強調する必要があると考える。

上田中学校では、授業前では理解度に有意差があったが、授業前後の理解度で全てのクラスの理解度が高まり、授業後に理解度の有意差がなくなったということから、理解度の底上げを図ることができたのではないかと考える。

7. 3 授業後アンケート統計分析結果・考察

授業後は、ポストテストに加えて、5段階評価アンケートと自由記述アンケートを実施した。この結果をもとに、授業を通して生徒が理解できたことや感じたことを明らかにする。

7. 3. 1 アンケート内容

5段階評価アンケートの内容は、表7-12の通りである。このアンケート結果をもとに統計分析を行う都合上、各質問項目の略語も記載している。

表7-12 5段階評価アンケート質問項目と略語一覧

	質問内容	略語
1	あなたは理科が好きですか？	理科好き
2	あなたは理科が得意ですか？	理科得意
3	あなたは、毎日の天気の変化に興味がありますか？	天気興味
4	数値実験（数値予報）の仕組みについて理解できましたか？	仕組理解
5	数値予報で用いられている計算について理解することができましたか？	計算理解
6	数値実験の設定は、操作しやすかったですか？	設定操作
7	学習プリントや補助プリントは、学習内容を理解するのに役立ちましたか？	教材役立
8	様々な計算を早く解くことができるコンピュータの必要性を感じましたか？	PC 必要
9	電卓で計算したことをシミュレーションの設定に関連づけて考えることができましたか？	計算関連
10	実験結果の図は、分かりやすかったですか？	結果明瞭
11	電子黒板での説明は、分かりやすかったですか？	説明理解
12	様々な数値実験（数値予報）をもっとやってみたいと思いましたか？	予報興味
13	授業を通して、台風の構造や特徴に関する理解は深まりましたか？	現象理解
14	授業を通して、数値実験（数値予報）を行う必要性を感じましたか？	実験必要
15	今回の授業は、満足できるものでしたか？	総合評価

7. 3. 2 アンケート結果

表7-12のアンケートのそれぞれの項目に対して、生徒に5段階（5.とてもそう思う・4.そう思う・3.どちらとも言えない・2.そう思わない・1.全くそう思わない）で評価してもらった。クラスごとの平均値を示したグラフ（図7-16）と全クラス分の5段階回答率のグラフアンケート結果（図7-17、図7-18）を以下に示す。5段階解答率のグラフの項目の並び順は、アンケートの項目順ではなく、5や4の割合が多いものから順に並べている。

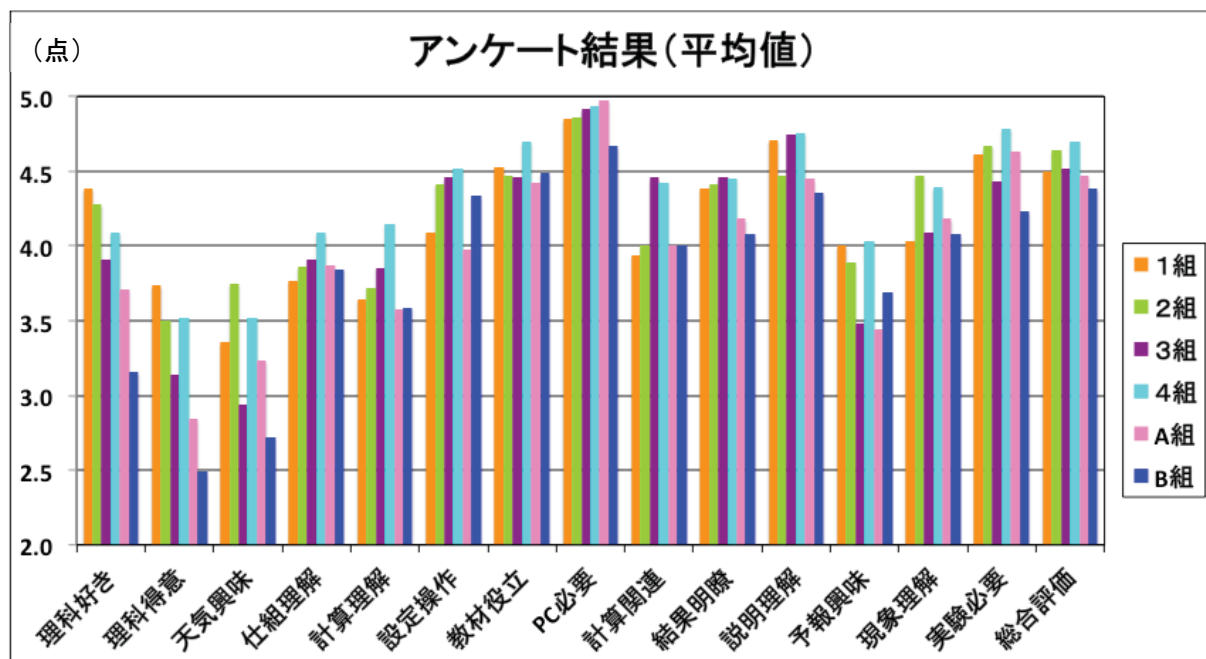


図7-16 全クラス平均値（1組 n=33、2組：n=36、3組：n=34、4組：n=33、A組=38、B組=39）

図7-16のグラフを見ると、全体的に上田中学校の平均点が高いことがわかる。その中でも、2組と4組の平均値が高く、特に「現象理解」の項目で2組と4組の平均値が0.5点ほど他のクラスより高くなっている。

生徒自身の特性について質問した、「理科好き」「理科得意」「天気興味」の項目の平均点は、全体的に低い結果となった。特に附属中学校のA組・B組は、プレポテストで高い点数を取っていたにも関わらず、「理科得意」の平均点が3.0点以下となった。

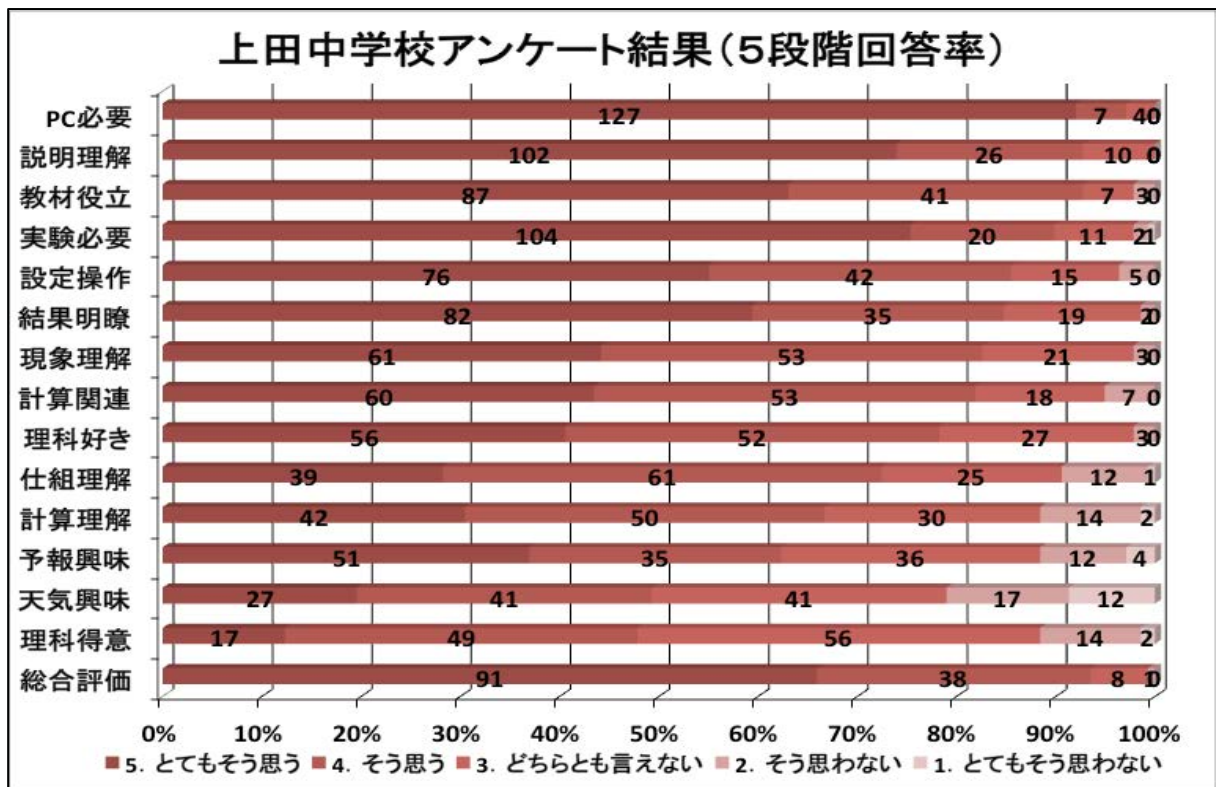


図 7-17 上田中学校 5 段階回答率 (全クラス : n=136)

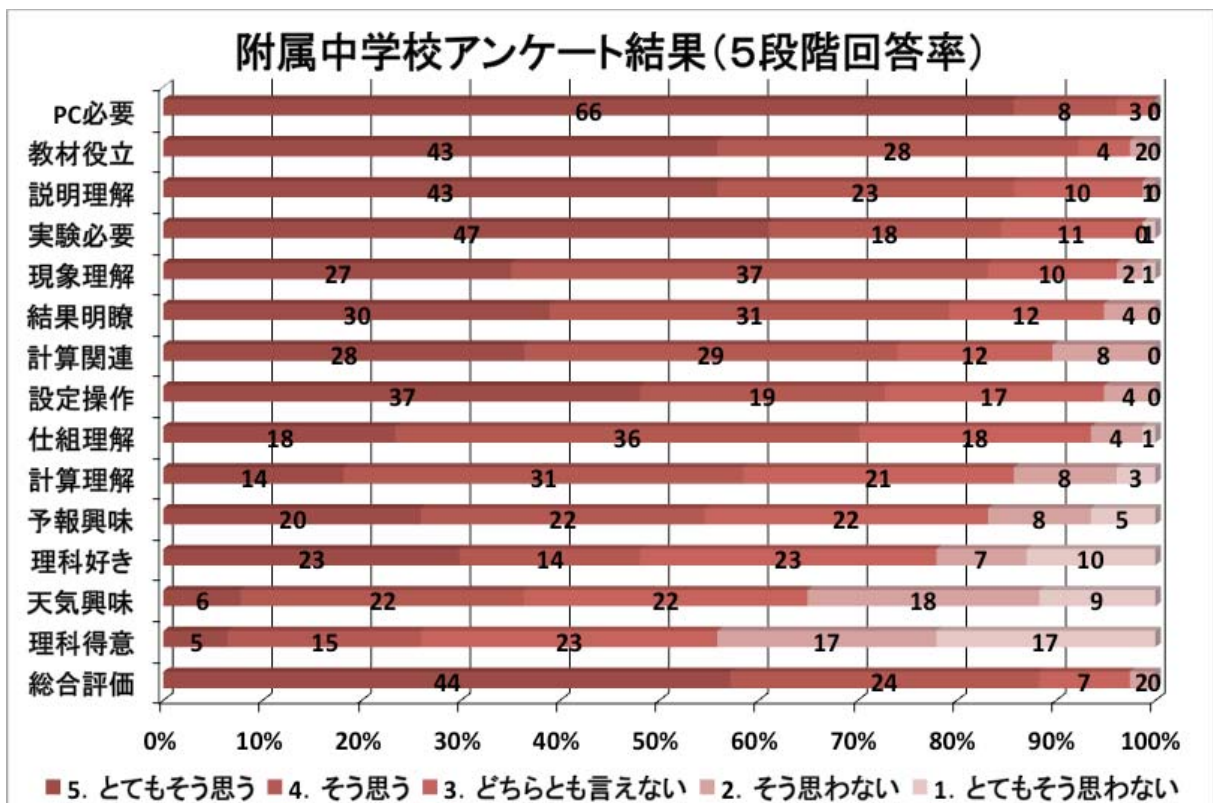


図 7-18 附属中学校 5 段階回答率 (A 組・B 組 : n=77)

図7-17、図7-18を見ると、生徒は全体的に肯定的な回答をしており、さらに「総合評価」の項目で約9割の生徒が肯定的な回答をしていることから、全体として生徒が満足できる授業をすることができたと考えられる。また、天気に興味がある生徒が上田中学校は5割、附属中学校は4割に満たないことから、天気に興味をあまり持っていない生徒も、授業内容を理解することができたこともわかった。

しかし、生徒の8割以上が数値実験を必要であると感じている中、両校共「予報興味」の項目で肯定的な回答をした生徒が、約6割に留まった。

7. 3. 3 CS分析結果・考察

アンケート結果から、生徒が台風の構造や特徴について理解できたことが分かった。さらに台風の理解を深めるためには、どのような項目を改善すればいいのか求めるため、CS分析を用いて改善度を求めることにした。CS分析の目的関数を、5段階評価アンケートの15問目の「現象理解」とし、説明関数を他の質問項目とした（「総合評価」を除く）。

分析結果から求めた、クラスごとの改善度グラフ（図7-19～図7-24）を示すと共に、相関が強く改善度の高い項目のみの原因について考察する。また、全クラス分の改善度グラフ（図7-25）から考えられることを述べていく。

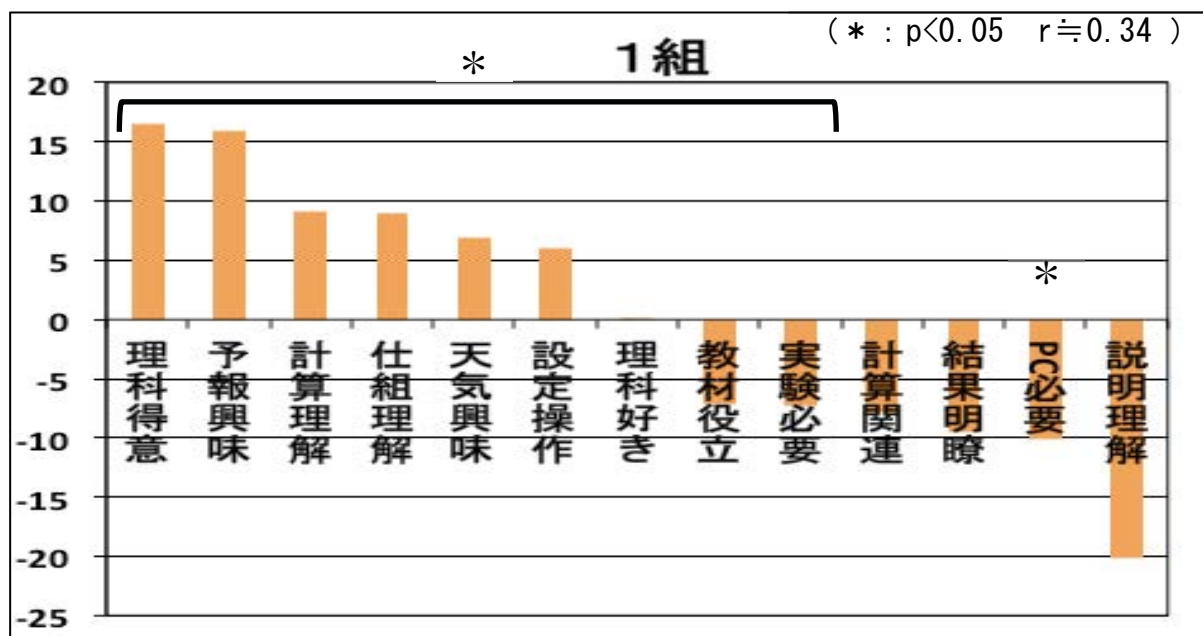


図7-19 1組改善度グラフ (n=33)

「予報興味」の改善度が高くなった原因として、設定条件を変える項目が少なく、他にどのような実験ができるのかを、イメージすることができなかつたからであると考えられる。

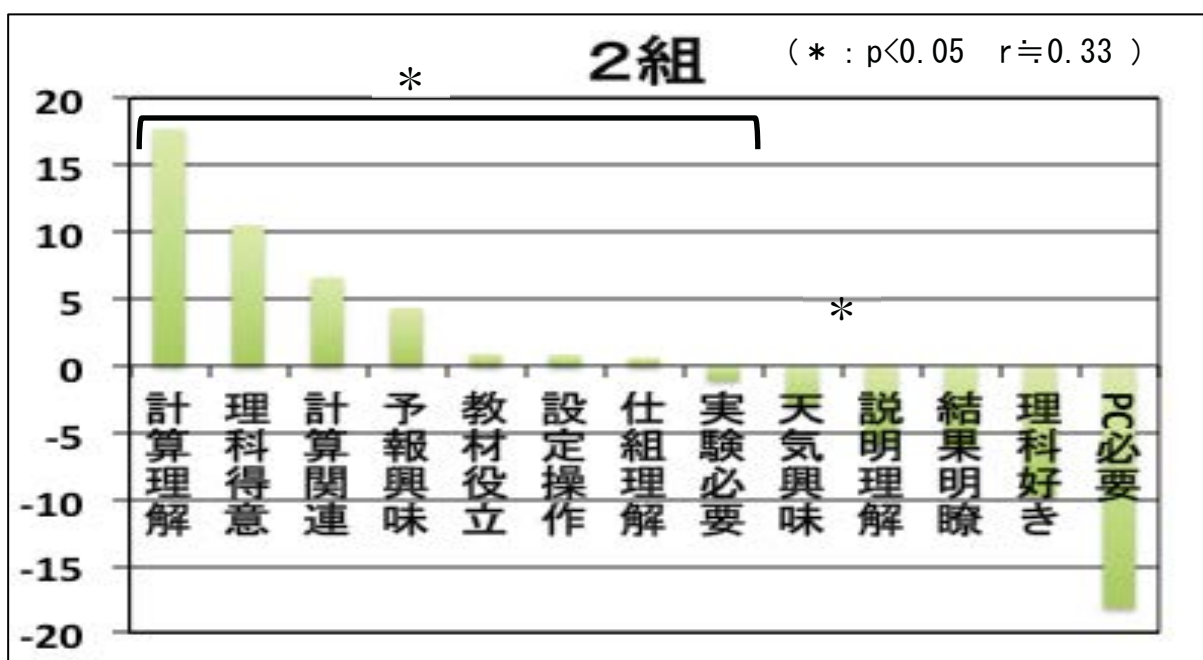


図7-20 2組改善度グラフ (n=36)

「計算理解」の改善度が高くなっている。授業の様子を見ている限り、生徒は計算することができていたと思うが、単なる作業として計算をするだけで、計算の意味について考えることができなかつたのだと考えられる。

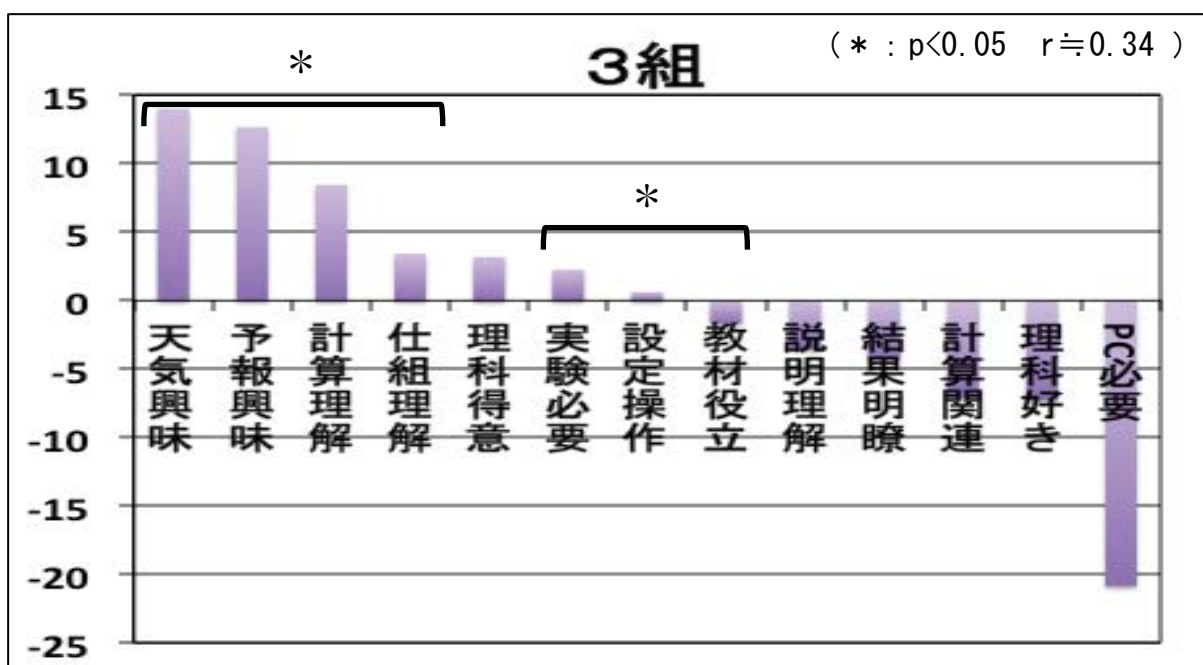


図7-21 3組改善度グラフ (n=34)

「予報興味」や「仕組理解」の項目が高いことから、身近な天気予報で利用されていることや、数値実験がどのようにして天気予報を出しているのかをもっと詳しく説明してから数値実験に取りかかるべきだったのだと考える。

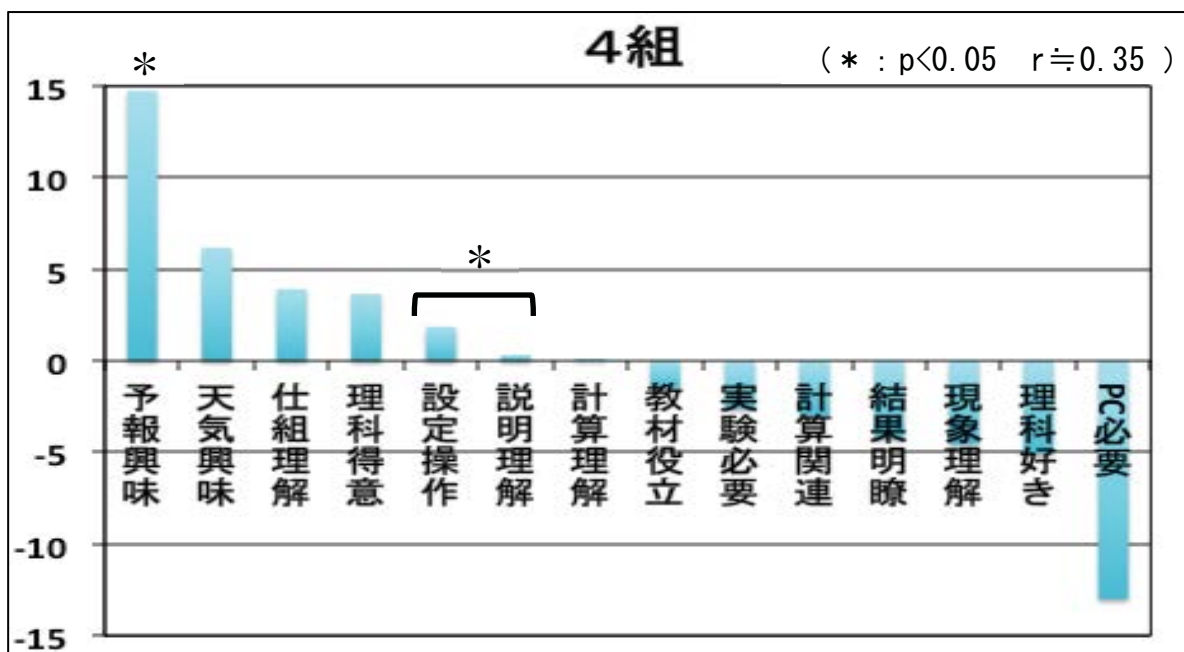


図7-22 4組改善度グラフ (n=33)

他の項目に比べて「予報興味」の改善度が高くなったことから、数値実験をもっとやってみたいと生徒が思うような話や説明ができていなかったのだと考える。また、数値実験と天気予報とのつながりを印象付けることができなかったのだと考える。

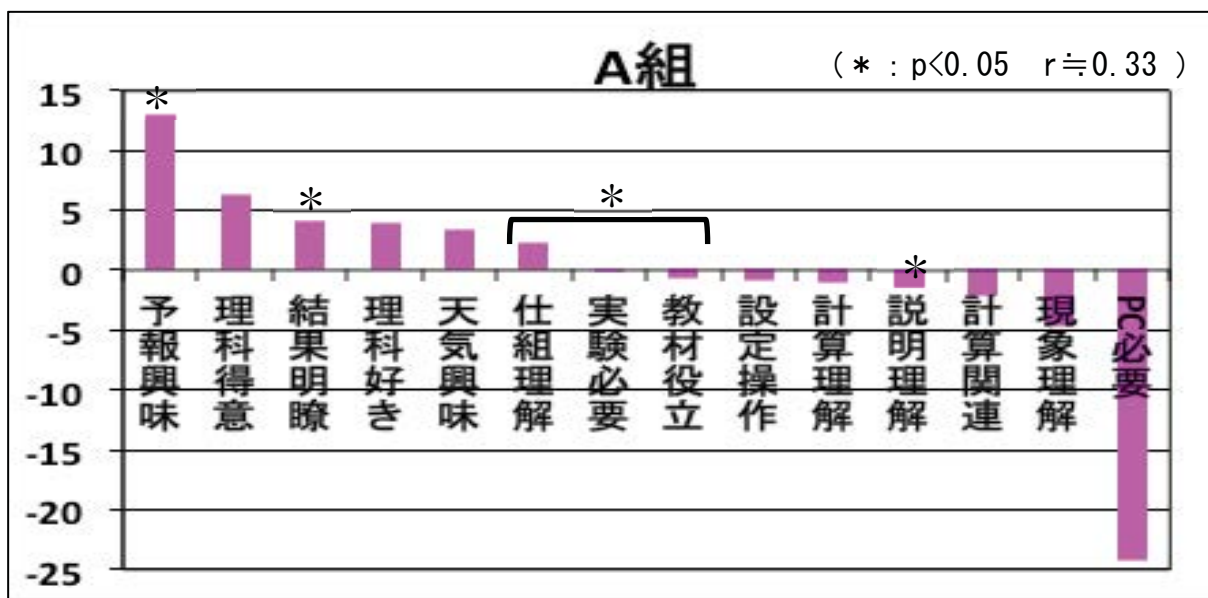


図7-23 A組改善度グラフ (n=33)

「生徒が数値実験した結果と、実際のシミュレーション結果とを見比べるために、シミュレーション結果の画像を用意したのだが、その画像が見えにくかったため、「結果明瞭」の改善度が高くなったのだと考えられる。それに伴って、もっと数値実験（数値予報）をしたいという意欲も高まらなかったのだと考える。

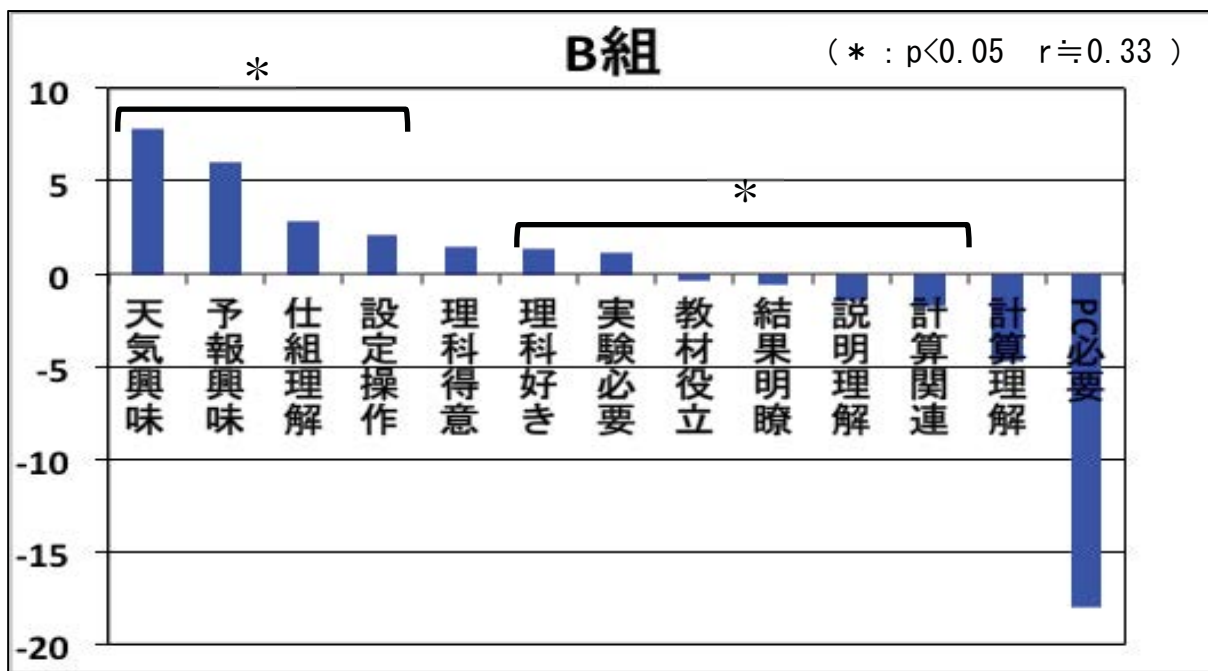


図7-24 B組改善度グラフ (n=33)

4組・A組同様に、「予報興味」が最も改善度が高くなった。また、「設定操作」の改善度も高いことから、操作方法の説明が不足していた、もしくは操作手順などを示した補助教材が理解しにくいものであった、ということが考えられる。

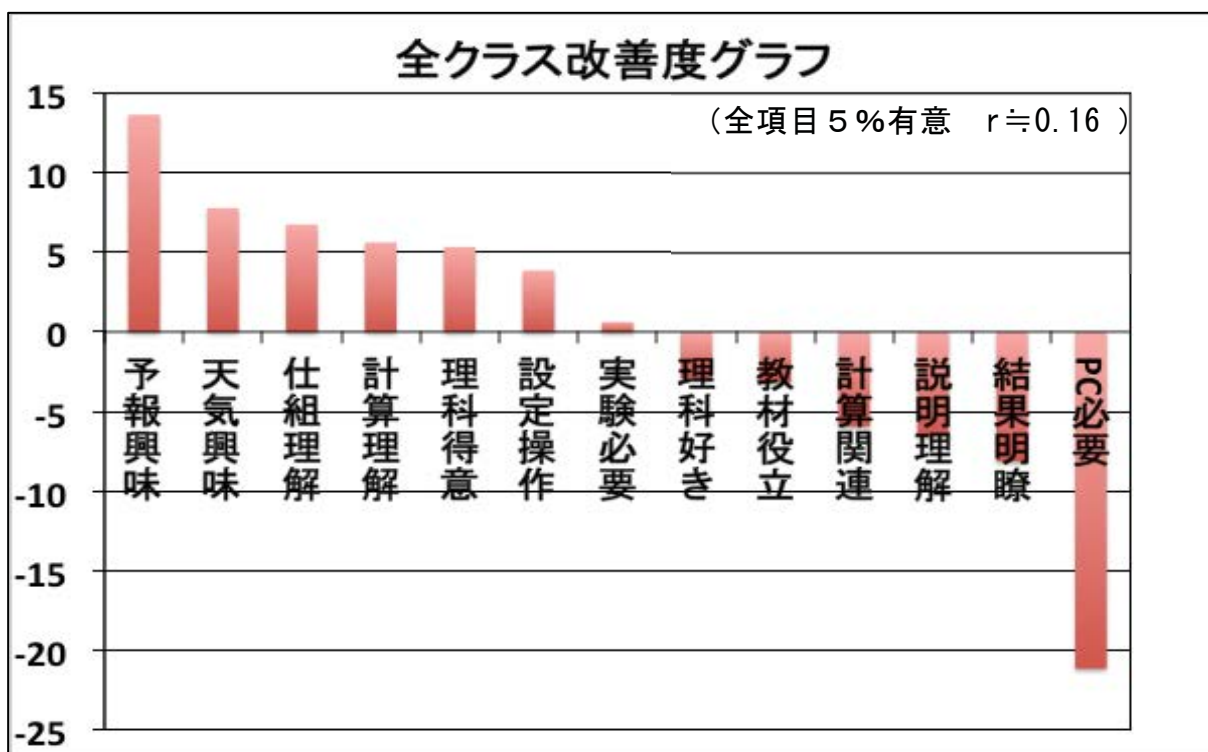


図7-25 全クラス改善度グラフ (n=136)

全クラス対象の改善度グラフ（図 7-25）から、台風の現象理解を深めるためには「様々な数値実験（数値予報）をもっとやってみたい」と生徒が思えるような授業をすることが必要であるということが明らかとなった。今回は、海水面温度のみを変えるだけで、他の条件を変えることができないのはもとより、海上の台風しか見ることができなかったということも、「数値予報」の改善度が高くなった1つの要因である考える。

一方、NHMの授業の時と同様に、「PC 必要」の改善度が最も低い結果となった。PCの必要性を感じたということは、数値実験を行う時はPCが多く計算をしているという仕組みを理解できたからこそ感じられたものだと考える。

7. 3. 4 自由記述アンケートの分析方法

授業後に実施したアンケートには、感想などを自由に記述できる欄を設けた。プレテスト・ポストテストや5段階評価アンケートではわからなかったことを明らかにするため、記述分析を行った。記述分析方法は、3. 3. 4で述べたKH Coderというフリーソフトウェアを用いた。具体的な分析方法は、3. 3. 4を参照してほしい。

記述分析を行うために必要となる記述分類コードは、表 7-13 に示す。

表 7-13 記述分類コード

1.数値予報・数値実験の仕組みが分かった	10. 計算について理解することができた・わかった
2.数値予報・数値実験の重要性・必要性が分かった	11. 計算が楽しかった
3.数値実験が楽しかった・面白かった	12. もっと計算について詳しく学びたい
4.数値予報・数値実験に興味を持った・もっと勉強したいと思った	13. 計算が難しかった・分からなかった
5.数値実験や実験結果が難しかった・分からなかった	14. 授業内容を理解することができた・わかりやすかった
6.PCの必要性・重要性が分かった	15. 授業内容が楽しかった・面白かった
7.台風の理解が深まった	16. 授業内容が難しい・分からなかった
8.教材や数値実験が理解の役に立った	17. 気象に興味を持った・もっと勉強したいと思った
9.説明が分かりやすかった	18. 授業で改善してほしいこと

7. 3. 5 自由記述アンケート結果・考察

生徒が記述した内容と、それを分類コードにそれぞれ分けたものを表7-14に示す。

表7-14 自由記述アンケート結果

記述内容	分類コード
1組	
とてもわかりやすかったし、数値予報のしくみがわかりました。天気予報を見る時に、機械はこんな予想をしているとわかりました。	9、1、1
授業はとてもわかりやすくて、プリントもとても工夫されていて良かったと思う。台風が、温度変化によって、どう変わっていくのかがわかって良かった。	9、8、7
自分の考えがより深く理解できたので良かったです。	14
2時間目はいなかったんですが、1時間目の計算を自分たちでやったことで、PCの計算の速さが身にしみてわかりました。	6
予報はコンピュータでさまざまな条件を入れて計算しているのがわかったのでとても良かった。	1
電卓を使ったりして楽しめた。公式があってわかりやすい。	11、8
授業を聞いてみて話は難しかった。けれど、とても面白かった。またこの授業があってほしいと思った。	16、15、4
とてもわかりやすかったです。	14
PCを使用してやったからすごくわかりやすかった。	8
数値実験のことについてあまりよく理解することができなかった。全体的にわかりやすいところもあれば、何を言っているのかわからないところがあった。	5、16
電子黒板やPCを使うのはわかりやすくてよかった。	8
コンピュータを使う実験は、今までの実験よりもワクワクした。	3
台風が強いのと弱いのとあるのが気になっていたのが、この授業でわかったのですごく助かったし、台風が大きくなる条件もわかったのでよかった。	7
実際、数値実験すごかった。	3
とてもわかりやすく教えてくれて、今まで知らなかったことなどを知ることができた。このことをこれから生かしたいと思った。	9、14
いつもとは違って、PCを使っただけの実験だったが、わかりやすかったし、とても面白い授業だった。	14、15

とてもわかりやすい授業だったので、次の時間にも生かしていきたいと思いました。	14
やっぱり授業にパソコンなどがあると授業が理解しやすくなるし、もっと興味を持てると思いました。	4
授業では数値実験のことについてわかったし、コンピュータの重要性も改めて感じる事ができた。計算は難しかったけどだんだんできるようになる事ができてよかった。	1、6、10
黒板だけではなく、PCや画面などを用いたことで、とてもわかりやすかった。また、計算する時もわかりやすく、授業の内容を理解する事ができた。	8、10、14
コンピュータの必要性が特にわかって、コンピュータのしていることを自分たちも体験できたのが楽しかったです。	6 11
実際に計算してみて、コンピュータの便利さを実感しました。	6
計算が難しかった。	13
さまざまな資料から考えるのが楽しかった。	3
方程式で未来の天気予測ができることを知り、驚いた。何枚かあったシートが授業を受ける上でとても役に立っていた。	10、8
中学生の知識である計算の仕組みを完全に理解するのは無理だけど、今回の授業で未来が数式でわかるという事実がわかって楽しかった。運動方程式とか高校物理をやればわかるようになるのかな？と思ったので、早くそれらを学んで、授業でやった数式の意味がわかるようになりたいと思った。	15、12
PCを使った授業はなかなかないのでとても楽しかったです。貴重な体験をさせてもらいました。ありがとうございました。	15
今回の授業は難しいのかなと思ったけれどグラフや表などさまざまな資料を使って行ったのでとてもわかりやすかったです。「京」というスーパーコンピュータは1秒であんなにも大変な計算をしているのはすごいと思いました。今回はありがとうございました。	8、6
どうやって天気を予報しているのか知ることができたし、温度が変化すると台風がどうなるかまで知れたからよかった。	1、7
わかりやすく学習しやすかったです。説明が丁寧で詳しく知ることができたので今後の生活に生かしていきたいと思いました。	14、9、14
実際にコンピュータを扱ったので、実験の意欲がわいた。プリント	3、8

の表にかざすプレートのようなものがわかりやすくよかった。	
コンピューターはすごいと感じました。台風についてもすごく理解することができました。	6、7
これまで考えることのなかった台風について海水の温度に着目して考えることができました。また、数値予報を行うことの大切さや便利さに気付くことができた授業でした。新しくたくさんのことを学べてとても楽しかったです。ありがとうございました。	7、2、15
2組	
今回は数値実験をしてみてコンピューターが計算しても長い時間がかかることがわかりました。またコンピューターがなければならぬこともわかりました。授業を通して数値予報の大切さを知ることができました。	1、6、2
天気予報がどのようにして作成されているか初めて知り、実際に自分たちでそれをやってみるとすごくおもしろかった。	1、3
この授業を通して明日の天気がこのようなことをしてわかっていることがわかりました。このようなことを気象庁でやっているのがすごく驚きました。	1
天気の予想をする難しい計算をスーパーコンピューターはすぐに計算できると知り驚いた。10秒後の天候を予測するのはとても難しかった。	6、13
パソコンを使って理科をやるのは初めてだったので、楽しく行うことができた。授業もわかりやすかった。	3、14
パソコンを使って天気予報していることを初めて知ったし、実際に計算してパソコンはすごいなと思った。計算するのは面倒なので計算するときはパソコンに任せたい。	1、6
方程式を使うと知って、戸惑いや驚きがありました。しかし、やっていくうちに出来上がっていく数値予報が面白く思えるようになりました。次ニュースなどで天気図やレーダーを見たときに今回やこれまでの学習を思い出したりして異なった視点でも見てみたいです。	11、4
数値実験を体験して、とても計算が難しく、面倒だった。コンピューターのありがたみを感じた。数値予報のしくみについても理解でき、実験と関連付けて考えることができた。	13、6、1

数値予報のしくみについて学習しました。10秒後を求めるのに約10分かかりました。しかし、コンピューターは一瞬でやるのですごいと思いました。	6
台風のしくみについて理解することができました。しかし、黒板が少し読み取りにくかったです。	7 18
楽しかったです。ありがとうございました。	15
今回は2時間だけしか授業は受けられませんでした。気象現象についてパソコンやスクリーンを使った授業はわかりやすいなと感じました。内容は最初、英文の式みたいなのが並んであって嫌だなっていうのは思ったけど、グループでグラフの式を求めたりするのは楽しいと思って解いていくのが簡単になったと思いました。今回は授業をしていただきありがとうございました。今後も頑張ってください。	8、11
台風について数値実験をしたおかげでしっかりと理解することができました。他の実験も時間があればやってみたいなと思いました。	7、4
コンピューターのすごさと数値実験のことについて詳しくわかった。また数値予報はとても面白いと思った。	6、1、3
自分たちが毎朝みかける天気予報などはどのように予想しているのか疑問を持っていたので、今回の授業でどのように予想しているのかなどがわかって良かったです。	1
今回の学習を通して、天気を予報するという事は、とても大変だということがわかりました。普段何気なく見ているテレビの天気予報の裏には、データ集めや大量の計算があるということに驚かされました。また、台風の予測では、自分の考えていた結果に近かったのが良かったです。時間が経つにつれても変化していたので、これから機会があればまた考えてみたいです。	2、1、7、4
自分たちが普段生活に活用している天気予報は方程式を解くことでわかり、その計算はすべてコンピューターがしていることがわかった。PCや電卓を使う授業はあまりしたことがないので、とても楽しかった。	1、15
天気予報はどのようなしくみでできているのかより詳しくわかりとても楽しかったです。また、コンピューターの必要性を学ぶことができました。今まであまり関心がなかった天気・気象でしたが、2回の授業を受けてとても興味をもつことができました。	1、6、17

数値予報で予報を出していることがわかった。	1
PC で実験するのは楽しかった。でも、今回の授業の内容をあまり理解するのはできなかつたし、今後はどう生かしていけばいいのかわからなかつた。	3、16
数値実験をやってみて、天気や気象現象の予想の仕方を知ることができました。実際にやってみると複雑な計算だなと思いました。だからこそ、コンピューターなどの機会はとても必要だなと感じました。また、数値予報の結果と台風の構造を結びつけることで理解が深まったので良かったです。	1、6、7
私はあまり理科が好きではなかつたけれど、今回あの授業で理科と今の社会がつながっているということを改めて感じたし、普段使わないパソコンや電卓を使っての実験は新鮮で思っていた以上に楽しかったです。ありがとうございました。	15
数値実験を自分たちの力で行ってみて、コンピューターの必要性を感じました。コンピューターがない時代はどうやって天気予報をしていたのかなと思いました。	6、4
私は天気はどのようにわかるのかわからなくて知りたかつたのですが、この授業を通して知ることができました。また、コンピューターがどんなに必要かも知ることができました。楽しい授業をありがとうございました。	1、6、15
10秒後の気象を予想するのに6分もかかってしまったけれど、1日分の計算を6時間でやってしまうコンピューターはすごいなと思いました。改めて気象の予想にはコンピューターが必要不可欠だと思いました。数値予報で用いられている計算はよくわからなかつたけれど、楽しかったです。	6、13、15
私たちがいつも見ている天気予報はどうやってできているのかとても不思議に思っていた。その疑問に思っていたことが今回の授業ではっきりとわかつた。	1
とてもわかりやすく、おもしろかったです。計算自体は難しいものだけれど、それが簡単に解きやすくなっていてやりやすかったです。天気の変化や予報の仕方に興味が出たし、2つのことを比べて考えることができました。	15、8、4、 17、14
普段は意識せずに見ている天気予報でもコンピューターの力を使っ	1、4

<p>て早く計算をしていることがわかりました。これからはもっと意識して予報を見たいです。</p>	
<p>初めての計算でしたが、記号の意味をプリントに書いてくださったり、シートがあったりして、少しは理解を深めることができて楽しかったです。コンピューターはすごいと思いました。</p>	8、11、6
<p>今回は今まで聞いたことことも行ったこともないことで少し難しかったけれど、天気を予報したりするのにこんなに手間がかかるなんて思ったことがなかったので驚きました。今はスーパーコンピューターとかが発達しているけれど、昔はどうだったのかなど気になったことがいくつかあったので、自分でも調べてみたいです。</p>	16、1、4
<p>電卓を使って自分で計算をしたりして、より理解が深まりました。実験を通して数値予報はとても大切だと感じました。また、コンピューターの必要性がより感じられました。今回の学習では、いつもよりも考えることを中心にやってみてとてもいい学習になりました。</p>	10、2、6、14
<p>コンピューターを使って、海水面温度を変えた時の台風について実験をしてみて、数値を入力するだけで予測することができるのがすごいと思った。自分たちの予想だけでははっきりしなかったことも実験によって明確にわかっておもしろかった。</p>	2、3
<p>授業では、天気を予想するために数値予報が行われているということやそのしくみについて知ることができました。実際に計算などをしてみるととても大変で、コンピューターのありがたさを改めて実感しました。また、授業を通して台風への理解も深まったので、これからの学習に生かしていきたいと思いました。</p>	1、6、7
<p>計算の時、xとかθとか難しそうだと思ったけど、簡単な式に置き換えてあったので、ちゃんと計算できた。でも、どうしてそのような考え方ができるかはまだ完全に理解したとは言い切れないと思ったので、自分でも考えたい。</p>	10、12
<p>なぜあの方程式で予報できるのかよくわからなかったけど、いくつかのデータが揃えば予報できることを知り、面白いと思った。また、コンピューターのおかげで天気予報をできることやシミュレーションから様々な特徴がわかることも知った。特に、最後に見た3Dの映像は技術が進歩しているからこそできると思うので、これからの天気予報が楽しみにになりました。</p>	13、1、2、4

今回の授業では、数値実験の大切さを知ることができました。計算などがたくさん出てきて少し大変でした。しかし、説明がわかりやすく苦手な計算もすることができました。今回やった計算は一部分だけと聞いたので、どのくらいの量の計算をするのか知りたいと思いました。	2、13、1、 10、4
3組	
計算のやり方の説明をしっかりと教えていただきやすかった。	9
教科書には書かれていない内容で、台風について理解を深めることができたので良かった。	7
天気について詳しく学んでみて、最初はあまり積極的にできなかったが、数値予報などをしてみて少し興味を持った。	4
今回の授業で気象情報のことについてわかったのでよかった。	14
PCでの実践的な授業がとても楽しかった。	3
コンピューターの性能の良さを感じました。少し内容が難しくてあまりついていけませんでした。おもしろかったです。	6、16、15
今回数値実験を使って予報をしてみて、今まではそのような経験をするのができなかった。数値予報についての興味がわきました。今まではあまり接することのない分野でしたが、しっかりと理解することができたのでうれしかったです。ありがとうございました。	4、14
計算をもっとしてみたいと思いました。	12
自分たちの生活に実用的な授業でおもしろかった。今回学んだことをこれからの生活に生かしていきたい。	15
PCを使う授業には興味があったので、今回の授業はとてもおもしろかった。	15
今回の授業で、数値予報をする大変さやしくみについて学ぶことができました。今まで何気なく見ていた天気予報がとても大変なことだと知り、驚きました。これからはもっと数値予報や数値実験のことを知っていききたいです。また、もっと他の気象現象も知っていききたいと思いました。	1、2、4、 17
コンピューターのすごさがよくわかりました。それと、スライドも見やすく楽しかったです。	6、8
PCの必要性や方程式などもわかった。	6、10
つまらなかった。将来役に立ちますか。	16

台風のしくみについて学べたし、理解ができたのでよかったです。	7
天気予報はどうなっていて、人力でやるととても大変だということがわかった。また、コンピューターの必要性を改めて感じる事ができた。	1 6
授業を通して、台風の構造や特徴に関する理解が深まったのでよかったです。	7
気象データを用いて数値実験をするのは初めてだったので良い経験になりました。またやってみたいです。	3、4
後ろの席でしたが、ハキハキしゃべってくれていて聞きやすかったし、電子黒板の色使いが見やすいように作られていて、とてもわかりやすかったです。字がまっすぐな字で発言したときもうなずきながら聞いてくださって、楽しい授業でした。	9、14、15
パソコンを使って実験するのは初めてだった。パソコンが計算しているのはとても早くて、自分で計算すると遅くて、パソコンがあることによって、はやく計算できていることがわかった。そして、どのように天気が予測されているのかがわかった。とてもわかりやすかったです。	2、1、14
どうやって天気を予測しているのかがわかりました。授業がわかりやすかったです。	1、14
初めてやったものだったので、パソコンを使って数時間後を予想できるのがとても興味深く、おもしろかったです。すごく複雑で難しそうな計算だったけれど、丁寧な説明のおかげでよく理解できました。	3、9、10
最初は難しそうな内容だと思っていたけど、プリントや電子黒板での説明などがとてもわかりやすく、台風に関する理解を深めることができました。藤原先生の授業は面白く、とてもわかりやすかったです。	8、9、7、 15
藤原先生の授業は、とてもスムーズに進んでいき、受けていてとても楽しかったです。数値予報のしくみもわかったので、天気予報などをもっとみていきたいです。	15、1、4
PC を使った初めての数値実験でした。人間が計算するものすごく時間がかかるものをPCであればものすごいスピードで計算できることがわかり驚きました。わかりやすい授業ありがとうございました。	6、14
いろいろな資料や色を使っていてわかりやすかったです。理科の天気	8、15

の部分は苦手なのですが、今回は楽しく学べました。ありがとうございました。	
今までどうやって数値予測を行っているのかは知らなかったけれど、実験などを通して初めて知ることができました。とてもわかりやすく楽しい授業でした。	1、15
少し難しい内容でしたが、計算の公式にわかりやすく色分けをして頂いたり、型を作って頂いたりと理解を深めることができました。	16、8
天気はあまり好きではなく、理科自体苦手ですがわかりやすかったです。	14
今回の授業では、知らなかった台風のことをくわしく理解することができました。PCなどを使っていたのでわかりやすかったです。しかし、数値実験は難しかったです。	7、14、5
今までは実験道具を使っていたが、今回はコンピューターで新鮮だった。しかし、コンピューターが勝手に進めているような感じがしたので、書く・話すなどの活動をしたほうが良いと思った。	15、18
まだ習っていない計算とか出てきて難しかったけれど、コンピューターで天気を予測したのは楽しかったです。	13、3
4組	
今回の天気の授業では主に台風のことを学習しましたが先生の授業がわかりやすく、理解しやすかったです。身の回りには、たくさんの気象現象があるので、さらに天気に興味をもって理解を深めたいです。	7、17
いつもは使わないPCなどを使って学習してとてもわかりやすかったですし、プリントの作り方も上手だったので天気のことをよくわかりよかったです。	15、8
コンピューターの頭の良さに驚きました。計算結果を見る時の図がとてもわかりやすかったです。上から横から風向まで細かく出されていてすごいと思いました。3Dの映像もすごかったです。今回の授業で、条件を変えて未来の天気と今の天気の違いを見つけるのは大切だということがよくわかりました。ありがとうございました。	6、8、2
とてもわかりやすい授業でした。計算も簡単にできるようになっていてとてもよかったです。	14、8

今回授業を受けて、数値実験の大切さや大変さ、仕組みなどを理解することができました。コンピューターが行っている計算を実際にするによって、その大変さやその計算の方程式を導き出すまでの苦労が身にしみてわかりました。また、台風の条件を変えてみる実験なども興味深くとても楽しかったです。	2、1、6、3
数値予報という言葉は普段聞き慣れていないが、コンピューターなどを用いることでその仕組みを理解することができた。また計算方法なども意外に簡単で楽しく学ぶことができた。今回学んだことを生かして次は違う気象現象を調べていきたい。	1、11、4
今回あの内容は少し難しかったです。特に計算するところで少しつまずいてしまいました。ですが、説明や電子黒板での授業はよくわかりました。	16、13、9
今回の授業では、方程式を使って計算したり、パソコンを使って台風の動きなどを知ったり、今まで考えもしなかったことを深く学習できたのでとてもためになりました。	7、14
数値予報に興味をもちました。コンピューターでできることにも驚きましたが、実際に自分で方程式を使って出すことができることにはもっと驚きました。人の手ではかほりきれないほどの情報を処理する仕組み（コンピューター）を考えたのはだれなのか知りたいです。	4、14、4
今回の学習では、今まで不思議に思っていた天気予報について数値実験が用いられていることやその仕組みについてよくわかりました。これからは天気予報を見る機会を増やしたいと思いました。	1、4
数値実験の重要性や特徴を理解することができた。もともと数学は得意ではないので理解には時間がかかったが、理解するとすらすらと頭に入ってくるようになり、解けるようになった。	2、1、10
台風を3Dで表したものがとてもリアルで台風の動きや大きさの変化を見ることができました。	8
気象予報にはそれにこぎつくための膨大なデータ、複雑な計算をする必要があるということを学び、とても驚きました。全て解き終わった時は、達成感と共に、PCや予報士の方の存在を痛感しました。	1、6
天気予報を方程式で求めていることを初めて知った。コンピューターを使って学習して楽しかった。	1、3
パソコンを使って、数値やそのグラフを出すことでパソコンの必要性	6

を感じられた。また、昔では、この計算を人の手でやろうとしていたことに驚いた。	
今回はコンピューターを使って計算することでより速く天気を予想できるということがわかりました。これから様々な気象の仕組みについて学んでいきたいです。	1、17
今回の学習では、台風のことや気象は計算で求められることがわかった。また、コンピューターの計算では6時間かかるものがスパコンでは1秒でできると知ってびっくりしました。またちがう気象についても学んでいきたい。	1、6、17
コンピューターを使いながら行う実験はなかなか無いので興味を持った。電子黒板での説明もわかりやすく、内容の濃い授業にすることができたのでよかった。実験結果と台風の構造や特徴を結びつけるのが少し難しかった。理科の学習でわかったことや身についたことを普段の生活にも繋げていきたい。	3、9、5
気象現象を図から読み取るなど難しいところもありましたが、方程式に沿って計算していくことで、コンピューターの必要性や性能の良さを発見することができました。	5、6
天気予報がはずれないのは正確な観測データとそれを用いた数値予報があるからだとわかった。数値実験の時間はかかるが大切さを感じた。	1、2
わかりやすくとても楽しかったです。	15
計算をするときに、わかりやすいようにラミネート加工されたものでやると、とてもわかりやすかったです。また、電子黒板での説明もわかりやすかったし、図も見やすかったです。	8、9、8
パソコンを使って、計算することが初めてだったので、いい機会でした。手計算もすぐに解くことができましたが、パソコンはすぐに終わらせてしまうので、予報はある意味大変だと思いました。	15、10、2
少し難しかったけど、友達と協力して問題を解いたりすることができたので楽しかったです。これからもいろいろ調べてみたいです。	13、11、17
天気はどのように予測し、変化していくのか、コンピューター・方程式を用いながら実際に体験したのでよりわかりやすかったです。仕組みにもせまっていき、班でわかれて実験結果を話し合いながら考えを深めていくことができたのでよかったです。	1、14

今回の学習は、少し難しいところがあったり、わからないところもあったりしたけど、きちんと解いたりすることができたのでよかったです。また、先生の授業を受けれてよかったです。ありがとうございました。	16、10
天気予報ができるのはお天気キャスターだけだと思っていましたが、今回 PC は使いましたが自分にもできることがわかって、計算して楽しかったです。しかし、方程式ではなぜそういう計算になるのか理由がわからなかったのも、もしまた機会があったらそういうことも理解してみたい。	1、11、12
わかりやすく、説明などもよかったです。そのため、実験をより正確にすることができました。	9
実験をしてみて、コンピューターの必要性を強く感じることができました。先生の説明もわかりやすくとてもよかったですと思います。	6、9
海水面温度を 10℃上げたり下げたりするだけで、台風の様子とかが変わってしまうことがわかった。また、計算で気象予報をするのは難しかったし、時間もかかってしまうので、コンピューターで気象予報を行っていることが授業を通して知ることができた。	7、1
今回の授業を通してコンピューターという機械の大切さと便利さを天気という違う視点で感じさせてもらいました。また、計算を実際に解いて、自分たちで解くよりコンピューターの方が何時間も短縮し、正確に解けるので今後もパソコンを大切に使いたいです。	6、6
数値実験はとても難しかった。シミュレーションから気象現象を自分たちで計算するのは大変だった。しかし、今回のことから天気について考えを深めることができた。	5、13、14
コンピューターに情報を打ち込むだけで、予報してくれるのはすごいと思ったが、正確な情報を打ち込まなければいけないことも大切だということを知った。	1
A 組	
中学校では習わないようなことまで学べたのでよかったですと思いました。	14
台風のことについてデータを使って考えることが新しく、楽しかった。	3
計算がややこしかったです。説明がわかりやすく、授業が受けやすか	13、9

ったです。	
数値予報をやってみて、今回人の手だけじゃできないことがコンピューターにはできたのでコンピューターの必要性がわかりました。そして数値実験をやってみて数値予報の必要性がわかった。	6、2
コンピューターの必要性というのがよくわかった。それもコンピューターがないと明日の予報なんて人だけで1日を通り過ぎてしまうほどの計算時間が必要だし、大変だ。	6、2
とてもわかりやすかった。みんなわかっているけど手をあげないので無理やり当ててもいいと思います。	14
天気予報をする上で必要な数値実験。その複雑さに驚くとともに、それを人間にはできないスピードでやってくれるパソコンの素晴らしさに感動しました。やっぱり PC は大切です。	2、6
天気を方程式で求めることができるということが驚いた。台風の進路の予報だけでもノート PC で6時間もかかると知ってそれ以外も計算しようとしたらもっと長いのかと思い、普段見ている予報は様々な大変なことがあると思いました。	1、2
台風に対して理解が深まりました。ありがとうございました。	7
今回の学習で台風について理解が深まった。	7
計算の仕方をわかりやすく説明してくれたりと私たちが理解しやすいようにパワーポイントを使っていて良かったと思います。	9、8
少しわかりづらい内容だったけど、かみ砕いて説明をされて少し理解ができた。しかし、授業の内容はとても面白かったです。	16、9、15
数値となるとまたわかりづらいのかと思ったら、わかりやすいように計算するためのものを準備していただいたのでわかりやすかったです。	8
授業では実際にデータを見ることができて、よりわかりやすくなって理解をするのが簡単でした。	8、7
特に予報は統計的なもので、数値予報を知らなかったのが驚いた。また、もっと難しい式も計算してみたい。	1、12
台風の3D映像が面白かったです。	8
毎日気象予報士の人が気象の様子をみて判断し、それをコンピューターに打ち込んでいると思っていたので、とても驚きました。	1
台風が海水面温度を10℃変えるだけであれだけ違う結果がえられ	3、7

ることに驚いた。台風についてよりくわしく知ることができた。	
2時間を通して、台風を予測することができたので良かったと思います。これからは活用させていきたいです。	7
スクリーンや図、グラフなどがたくさんあってわかりやすかったです。計算とかいっぱい大変だったけど楽しかった。コンピューターの気分になれた。	8、11
天気予報とかはいつもテレビを見るくらいでしか関わっていなかったけど、数値予報という予報する側になってみて面白かったです。	15
コンピューターを使ったので、授業がわかりやすかったです。	8
私たちが10分ほどかけてやった計算をコンピューターは一瞬にしてやってしまうのがすごいと思ったし、コンピューターは人にとって重要なものだと思った。海面温度によって、台風が変化することがわかった。	6、7
電子黒板やコンピューターなどをたくさん使った授業で、気象の変化がわかりやすかったし、シミュレーションも楽しくできました。天気を1日予報するのに、たくさんの方程式を使うとわかり、コンピューターの重要性について改めて気づきました。楽しい授業ありがとうございました。	8、3、15
数値予報をするのに、コンピューターが必要なことがよくわかりました。今までわからなかった予測の仕方がよくわかりました。	6、1
今回の授業を通して、前回より少しだけ天気の変化や台風について理解が深まったのでよかったですし、楽しんでやれたのでよかったです。	7、15
今回の授業では、PCを使って計算をして計算が多すぎてよくわからないところもあったけれど、ほかの気象現象も求められるかやってみたいと思った。	13、4
最初、授業の内容を聞いたときは、どうやって実験をしていくのかな？難しそうだなあと感じていましたが、わかりやすい説明だったり、計算しやすいように道具があったり、シンプルにまとめた結果を書いた紙があったりしたおかげで、理科が苦手な私もスムーズに進めたのでよかったです。	9、8、14
今回の授業では、台風のことについてよく学べたので、日常生活にも生かしていきたいです。	7
計算をして温度を求めることができました。ありがとうございました。	1

ざいました。	
今回の授業は、台風についてわかりました。計算は難しかったけれど、できたのでよかったです。	7、10
内容はわかりづらいものだったんですが、一生懸命やっていただいたので、台風の構造や特徴を理解することができました。	16、7
おとか、今まで知らなかった理科以外のことも知ることができて楽しかったです。やっぱり PC は計算が速くてすごいなあと思いました。私がやったら丸一日くらいかかります、多分。今度また今回のようなことをする際は、天気雨になる条件を調べてみたいです。どうして晴れているのに雨が降るんでしょうか・・・。	15、6、4
人が電卓を使ってもすごく時間がかかるものをコンピューターは一瞬で終わらせられて、とてもすごいと思いました。また、数値実験という気象の予報もあることがわかりました。難しい方程式を使っても予報できることを初めて知り、とても驚きました。もっと気象に興味をもっていきたいです。	6、1、17
映像がわかりやすくて楽しかった。3D で表すとよりわかりやすい。	8
天気は、数値を変えることで、そんな天気になるのかを自由に変えることができるってわかって驚いた。計算は、人でもできるけど時間がかかるから PC を使ったほうがたくさんの予報をすることができると思った。	3、2
今回の授業では、台風についてよくわかりました。数値予報は大切ということもわかりました。	7、2
数値実験は、人でやると大変なことになるとわかりました。PC の大切さについてわかりました。少し台風への興味をもつことができました。また 3D の映像を使っていてすごくわかりやすかったです。	2、17、8
B 組	
字がきれいでした。パソコンなどいろいろ使っていてよかった。	8
今回の授業では、コンピューターを使うことによって、黒板・教科書を使うよりも楽しく理解することができた。	8
とても楽しくわかりやすかった。	15
台風の原理がシミュレーションでよくわかりました。また、いろいろなシミュレーションがみたいです。	7、4
今回の授業で、PC を使った実験をおりまぜながら、内容を理解する	14、8

ことができた。授業は電子黒板も使っていてとてもわかりやすかった。	
計算をすることとは少し難しかった。でも、計算表はわかりやすかった。台風の変化もわかった。	13、8、7
一見難しそうだったけれど、計算方法を知れば、自分でもできるとわかりました。もっと調べてみたいです。	10、4
今回の授業で移流方程式という言葉を知ることができました。	14
今回の授業では、パソコンなどを使ってとてもわかりやすい実験ができた。また、それぞれの班で実験できたので、結果などがわかって理解しやすかった。	3、7
いつもの先生よりわかりやすかったです。	14
計算をしながら様々な学習をできて楽しかった。毎日の生活にとっても関係しているので、とてもいい学習ができた。	15
台風についての数値実験をしていろいろ楽しかったです。	3
ラミネートで包まれたプリントを1人1人にカードのように渡して、比べやすくしてもらいたかった。	18
学習をしてみて、移流方程式を使った温度の変化について理解することができたとし、台風の実験について理解することができました。台風ができるまでについてくわしく学習してみたいです。	10、7、17
天気予報で数値実験の重要性を感じた。結果を読み取る力をつけたいです。2日間ありがとうございました。	2
数値実験は「もしも～」ということ調べられるので便利だと思った。	2
移流方程式の具体的な意味がわかりにくかった。ほかの方程式も学びたい。	13、12
理科は理解するのがとても難しいです。もっとわかりやすい実験・学習をしてから応用にうつらないとわかりません。初めから難しいものではなく、わかるところから進める授業をお願いします。	16、18
10℃上げた時と下げた時で、どう気圧に違いがあるのか、とてもわかりやすかったです。このことを忘れないように、これから勉強していきたいです。	7、17
授業を通して、台風のしくみや勢力が弱まる理由について理解することができました。計算は大変なもので、コンピューターの重要性がわかりました。	7、6
とてもわかりやすくて素晴らしい授業でした。	14

とても面白い授業でした。でもこの実験を行う前に台風についての学習をもうちょっと入れてからやったほうがもっと理解できたと思いました。	15、18
計算するのはとても大変だったけど、コンピューターで行われているのがどのようなものかわかったし、様々な条件を変えてやってみるのも面白いと思う。	13、1、4
いつもしないことを試したりして面白かったです。	15
電卓やパソコンを使うとわかりやすかった。図も見やすくてよかった。先生の字もキレイで見やすかった。ありがとうございました。	8、8
コンピューターを使い、図と一緒に確認できたのがよかったです。また、10℃下げたとき上げたときの違いもわかりました。	8、7
移流方程式は難しかったけれど、表やプリントでわかりやすかったです。条件を変えると強さや大きさが変わることがわかりました。	8、7
台風の発生や発達をくわしく知れた。シミュレーションなら自由に設定できるから普段できないようなこともできて楽しかったです。とても楽しかったです。	7、3、15
電卓を使ったのが楽しかった。	15
コンピューターでの気圧や台風の様子を読み取るのが難しいというか、わかりにくいと思った。	5、16
今回の授業で、移流方程式について理解できた。移流方程式がもっと簡単な形になってほしいと思った。もっと実験をしたいと思った。スパコンはすごいと思った。	10、13、4、6
コンピューターを使っでの授業はよくわかりました。そもそも「台風とは何か」ということをもっと知りたいと思いました。	14、17
パソコンで設定を行い、台風がどのように変化するのかがわかりやすかったです。また計算をやって難しかったが、できた。	8、7、13、10
数値予報を実際にやってみて、計算が大変だったし、時間がかかってしまったので、スーパーコンピューターがどれだけすごいことをしていたか、そして気象予測するのがどれだけすごいことなのかわかった。台風の海面温度を変えることで、台風の大きさや降水量が変わるのが面白かった。	13、6、2、3
次の日の温度を計算で求めるのが少し面白かった。パソコンとソフトが6時間で計算するのはすごかった。	11、6

台風の仕組み、予想して考えることなど、少し戸惑うこともあったが、できた。また、計算問題でも新しい計算ができて面白かった。	7、11
計算をみんなでしたり、話し合ったりしてよかったです。でも、コンピューターを操作する人が限られたり、よくわからないまま進んだりしたので、もっとみんなに問いかけてくれるともっといいと思います。	11、18
数値実験での計算があまりわからなかったけど、それ以外はよくわかりやすくてよかったです。PCでの見方などがわかりました。楽しかったです。	13、14、15
コンピューターの図の見方がいまいちわからなかった。でも教科書より楽しかった。	5、15
先生の学習で、台風と海水面温度の関係や計算で予報を求めることができるようになりました。でも、その式からなぜ求めることができるのかよくわからなかったので、くわしく知りたかったです。新しく学ぶことが多く、楽しい授業でした。ありがとうございました。	7、1、12、15

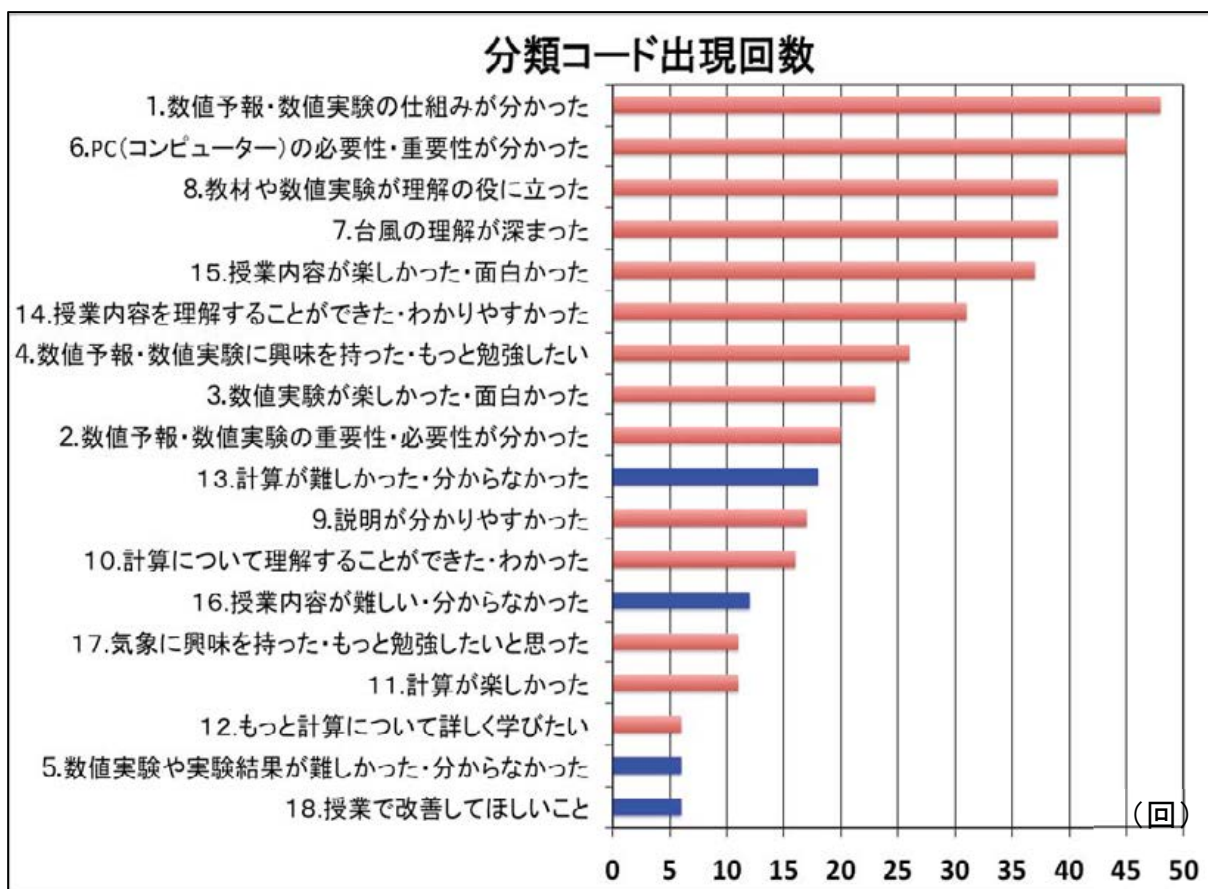


図 7-26 記述アンケート分類結果 (n=411)

生徒が記述した内容（表 7-14）を、分類コードにそれぞれ分けていった結果が図 7-26 である。分類コードが多く出現している順に並び替えている。赤い色で示しているのが肯定的な意見、青い色で示しているのが否定的な意見である。

この結果を見ると、授業を通して数値予報・数値実験の仕組みや、PC の必要性・重要性がわかったという記述が多かった。また、「台風の理解が深まった」の記述が多くあったことから、生徒たちは今回の授業の目的である台風の現象について理解を深めることができたと考える。

教材が役に立ったという記述も多くあったが、移流方程式を解くときに使用した計算補助シート（図 7-3）のおかげで計算しやすかった、という記述が多かった。計算方法が簡易的になったことで、「計算をこなす時間」ではなく、「計算の意味を理解する時間」になったのだと考える。

一方、今回の授業内容が今後にどう活かしていいのかわからない、といった記述もあった。このことから、天気予報を含め、気象のメカニズムを知る上で数値実験が大いに役立っていることなど、気象と私たちの生活が密接に関わっていることを授業内で生徒に意図的に伝えていく必要があると実感した。

7. 4 結論

「Web-CReSS for Education」を用いた授業を行うことによって、生徒たちは海水面温度変化による台風の変化について理解することができた。また、授業を通して、生徒の理科や気象に関する興味・関心を高めることができ、学習意欲も高めることができた。さらに、今回新しく作成した補助教材が生徒の理解に役立っていたということも明らかとなった。それに伴って、数値予報・数値実験の仕組みがわかったという記述が多くなったのだと考えられる。

一方、CS 分析から得られた改善度グラフから、数値予報に関する生徒の興味をあまり高められなかったことが明らかとなった。記述アンケートでは、数値実験・数値予報に興味を持ったという記述もあったが、今回の数値実験では、条件設定や実験できる領域が限られており、比較する対象が少なかったため、物足りなさを感じる生徒もいたのではないかと考える。また、今回の授業の目的の 1 つである数値実験の仕組みを理解させるために取り組んだ、移流方程式の計算の印象が大きくなってしまい、数値実験に関する印象が薄れてしまった可能性もある。数値実験を行うことによって気象現象について理解を深めることが 1 番のねらいであるため、授業時間を占める手計算の時間と数値実験を行う時間の割合を考え直す必要があると考える。

第 8 章 授業実践Ⅱ

第 7 章で扱った「Web-CReSS for Education」は、海水面温度のみ変更できるものであった。この章で扱うバージョンアップ版の「Web-CReSS for Education」が、2015 年 12 月 14 日（月）に届いたため、12 月 16 日（水）以降に授業を予定していた C 組と D 組で利用することにした。

8. 1 授業の概要

数値実験の条件設定で初期時刻を変更できる、バージョンアップ版の「Web-CReSS for Education」を利用した授業実践を、2015 年 12 月 16 日（水）～18 日（金）に岩手大学教育学部附属中学校で実施した。対象は、気象領域を学習済みの第 2 学年 2 クラス 74 名である。授業の目的や内容などの詳細について、以下に報告する。

8. 1. 1 授業の目的

授業の目的は、「数値実験の仕組みを理解する」「数値実験を活用した海水面温度及び地形変化による気象現象（台風）の変化を理解する」ことの 2 つとした。初期時刻を変更することができるため、日本列島に上陸した台風や日本海に抜けていく台風について数値実験することができる。そこで、海水面温度の変化だけでなく、地形変化による台風の変化についても理解させることとした。

8. 1. 2 実験環境

実験環境は、図 7-1 と同じシステム環境を、理科室の班編成に合わせて 10 セット用意した。

8. 1. 3 授業構成

授業は、2 時間構成である（表 8-1、表 8-2）。

1 時間目の授業に関しては、上田中学校や附属中学校 A 組・B 組と、目的と内容が同じであるため、7. 1. 3 の【1 時間目：数値積分の基本概念の学習】を参照してほしい。しかし、授業の最後に行う数値実験の条件設定のみ変更となるため、2 時間目の目的と授業内容とともに、条件設定の種類とその設定の意図について述べる。

【2時間目：海水面温度及び地形変化による台風の変化の学習】

目的は、「海水面温度や地形を変化させた台風の数値実験の結果から、台風が変化する原因について考える」とした。

授業内容は、まず1時間目の授業の最後に数値実験の条件設定を行うが、地形を変化させる実験を5パターン用意した。地形を変化させる実験は、以下の5つである。

- ①日本海上の台風
- ②日本列島上の台風（標高なし・陸なし）
- ③日本列島上の台風（標高なし・陸あり）
- ④日本列島上の台風（元の地形）
- ⑤太平洋上の台風

以上の5つのパターンそれぞれに対して、海水面温度を10℃下げるグループと10℃上げるグループに分かれる。すると、実験内容が10パターンできる。1クラス10班編成であるため、この10パターンの中から各班1つ選択し、それぞれの条件設定を行う。

今回の実験パターンには、②・③のように、標高と海水面温度の両方を変更させる実験も用意した。このような実験をしてしまうと、地形と温度のどちらが要因となって、実験結果が得られるのかを考察することができない。つまり、実際の地形のシミュレーション結果との対照実験をすることができない。

授業前にバージョンアップ版の「Web-CReSS for Education」で実験結果の検証をすることができなかつたため、自分自身も実験結果をあらかじめ把握できていなかった。しかし、最も複雑な設定をした実験結果から、生徒たちは何を読み取ることができるのかを調査し、今後の授業の改善に生かしていきたいと考えたため、この10パターンで実験を行うことにした。

2時間目には、海水面温度や地形を変えて数値実験した結果と、実際に観測された海水面温度でシミュレーションした結果を比較し、温度変化や地形変化による台風の変化を捉える。その後、温度や地形を変化させた、それぞれの班の結果を全員で共有し、全ての実験結果から台風が変化する原因について考察する。

次の頁以降に、1時間目と2時間目の学習指導案と、授業で使用したPPのスライドを示す。ただし、1時間目のスライドの内容は7. 1. 3で示した内容とほとんど同じであり、異なるのは条件設定のスライドのみである。そのため、差し替えたスライドや追加したスライド（7. 1. 3のスライドの【25】以降）のみを示す。

表 8-1 学習指導略案 (C組・D組 1時間目)

段階	学習活動及び学習内容	時間 (分)	■使用した教材 ○指導上の留意点など
導入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・台風の予報図を見て、どのようにして予報図を作成しているのか把握する。 →シミュレーション (数値予報) によって行われていることを確認する。 ・2時間を通して、台風の予報 (数値予報) を行うのではなく、数値実験を行うことを確認する。 →条件を変えた (陸を海にしたり、海水面温度を低くしたりした) 台風がどのようなものかを考えていくことを確認する。 <p>2 課題把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーション (数値実験) を行う前に、その仕組みについて学習し、実際に数値実験を行うことを確認する。 	5	<p>■PP (【1】～【7】)</p> <p>○実際に数値実験を行う 2015年7月15日の台風の予報図を提示する。</p> <p>○数値予報と数値実験の違いを明らかにする。</p>
	<p>数値実験のしくみを学び、数値実験を体験しよう。</p>	8	
展開	<p>3 数値実験は計算によって行われていることを学習する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際に計算を行っている方程式を見て、多くの計算をPCが行っていることを把握する。 ・その中の1つ、移流方程式を計算することを確認する。 <p>4 移流方程式を手計算で解く。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・移流方程式を手計算 (電卓) で行い、計算結果を学習プリントに記入する。 ・計算結果をグラフに記入する。 ・将来の温度は、現在の温度を元に計算していることを確認する。 <p>5 実際に行われている地球全体の数値予報に</p>	15	<p>■PP (【8】～【16】)</p> <p>○移流方程式のグラフを見せ、10秒後にどのような形のグラフになるのか予想させる。</p> <p>■「10秒後の温度を計算で求めよう！」プリント (図7-2)</p> <p>■計算補助シート (図7-3)</p> <p>■PP (【17】～【19】)</p> <p>■PP (【20】)</p>
		35	

	<p>ついて知る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スーパーコンピュータ「京」の話から、コンピューターの有用性などに気づく。 <p>6 数値実験（数値予報）のしくみのまとめ</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・数値実験（数値予報）は方程式がもとになってできている ・コンピューターは、非常にたくさんの計算をしている。 ・正確な初期データ（観測）が大事である。 </div>	38 40	<p>○数値実験ができるきっかけとなったりチャードソンの話に触れ、昔は手計算で予報しようとしていたことを伝える。</p> <p>■PP (【21】・【22】)</p>
終 結	<p>7 台風の数値実験の設定を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海面温度を10℃低くするグループと海面温度を10℃高くするグループに分かれる。 ・設定は、条件設定用プリントを見ながら行う。 	50	<p>■条件設定用プリント (図8-3)、PP (【23】～【30】)</p> <p>○ノートPCだと、12時間の計算を半分の6時間で計算できることを伝える。</p>

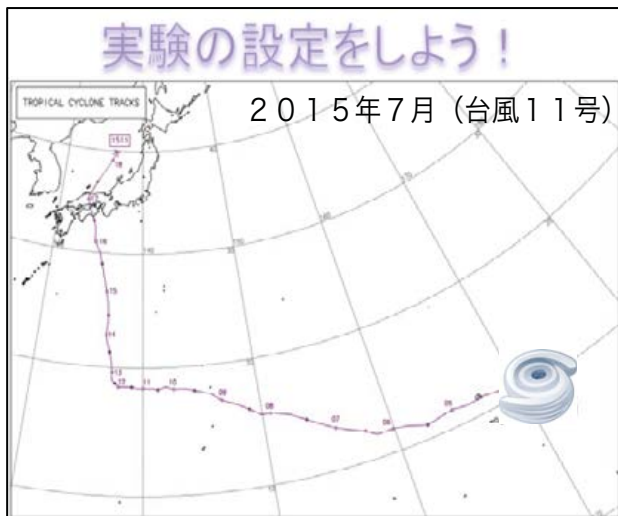
表8-2 学習指導案 (C組2時間目)

段階	学習活動及び学習内容	時間 (分)	<p>■使用した教材</p> <p>○指導上の留意点など</p>
導 入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前回実験した結果を見て、台風の大きさや降水量が、実際の台風と比べてどのようになっているのか調べることを確認する。 <p>2 課題把握</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>海面温度や地形を変化させると、台風はどのように変化するのだろうか。</p> </div>	3	<p>■学習プリント (図8-1)</p> <p>○考える視点 (台風の大きさや風向) を与える。</p>

展 開	<p>3 予想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分たちが設定した条件では、台風がどのように変化しているのかを班ごとに予想する。 	6	<p>■実験結果の表示要素 説明プリント (図8-2)</p> <p>○実験結果は、12時間後のみを見る。</p> <p>○生徒が発表しているときは、プロジェクターに実験結果を表示し、全員が結果を共有できるようにする。</p>
	<p>4 実験結果の見方確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際の台風の計算結果を見るとともに、実験で見ることができる結果(海面気圧・地表面降水量・雲水量)を確認する。 	1 1	
<p>5 実験結果確認・考察</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分たちが行った実験結果を見て、どのような結果になっているのか確認する。 ・どうして実験結果のようになるのかを考察する。 	2 6		
<p>6 結果と考察を発表する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・それぞれの班の実験結果(PC画面)をスクリーンに表示しながら発表する。 	4 4		
終 結	<p>7 まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・考察したことを交えながらまとめを記入する。 ・他の班の実験結果や考察を聞いて、参考になるところや共通しているところは取り入れて、まとめを完成させる。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>例) ・太平洋上で、海面温度を10℃高くすると、あたためられた空気が上昇し、上昇気流が起こる。上昇気流が起きたことによって、雲が発生しやすくなり、台風の規模が大きくなったり、降水量が増えたりする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本海上で、海面温度を10℃低くすると、海からの水蒸気供給量が減るため、実際の台風よりも早く温帯低気圧に変わる。 など </div>	5 0	<p>○生徒が発表した内容をもとに本時のまとめを行う。</p> <p>○伊勢湾台風の3D動画を最後に見せる。</p>

・授業で使用した PP のスライド

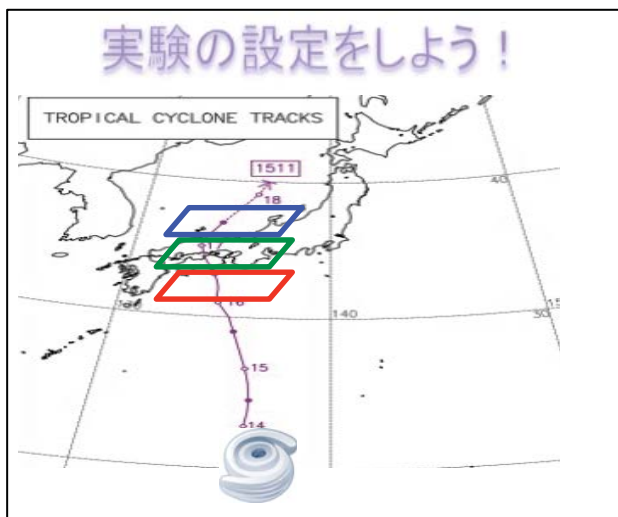
・授業での説明(●)、生徒への発問等(▲)



【25】

●台風の経路図で実験する領域を確認する。

実際に台風が通過した経路図を見せ、そのうち赤い枠で囲まれた部分を実験することを確認する。

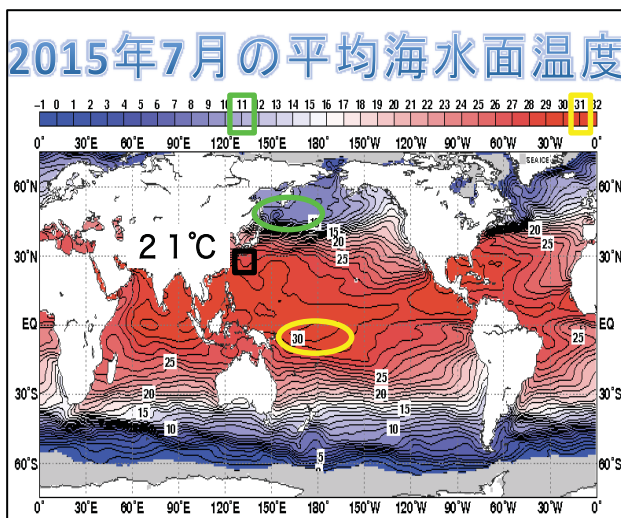


【26】

●数値実験で行う領域設定の説明

台風が通過した、太平洋上・日本列島上・日本海上の、3つの領域の実験を行うことを説明する。

また、平面の領域だけではなく、高さ方向も考慮して計算することを説明する。その際に、台風のおおよその高さも確認する。



【27】

●設定する海面温度の確認

条件設定する 2015 年 7 月の平均海面温度を表した図を示し、実験する領域の海面温度がもともと 21°Cであることを確認する。そして、今回は、北海道周辺の海面温度 (11°C)、または、台風が発生する赤道近くの海面温度 (31°C) に設定することを説明する。

実験の設定をしよう！

パソコンで設定しなければならないこと

- 1、領域設定
- 2、時間設定
- 3、海水面の温度設定
- 4、地形の設定



【28】

●数値実験で設定する内容の確認

今回の実験で変更する条件の確認を行う。海水面温度と地形の設定は、班によって異なるため、簡単な説明をした後、各自条件設定プリントをもとに設定を行う。



実験の設定をしよう！

12時間分計算してもらおう

時間 (JST) 台風の場所	計算開始時間
日本海上	2015年7月17日午後9時
日本列島上	2015年7月16日午後9時
太平洋上	2015年7月16日午前9時

【29】

●数値実験の設定に必要な時間設定の説明

台風が、指定した領域上に達する時間（計算の開始時刻）を示し、それぞれの時間から12時間分をPCに計算してもらうことを説明する。

8. 1. 4 使用した教材 (C組)

C組の授業で使用した教材は、以下のである。

- ・「10秒後の温度を計算で求めよう！」プリント (図7-2参照)
- ・計算補助シート (図7-3参照)

※上記2つの教材は、A組やB組の授業で用いたものと同じ教材である。

・学習プリント (図8-1)

2時間目の授業で用いる学習プリントである。自分の班の実験名を記入するところ以外はA組・B組で用いた学習プリント (図7-7) の内容とほぼ同じである。

・実験結果の表示要素説明プリント (図8-2)

生徒たちが見る数値実験結果と同じ領域・同じ時間における実際のシミュレーション結果を用いて、実験結果で表示されている色や矢印が、何を表しているのかを説明したプリントを用意した。実験結果と実際の台風のシミュレーション結果は、「結果だけを見る」画面上でも確認できるが、手元でも確認できるようにと、実際のシミュレーション結果の図を用いた。

・条件設定用プリント (図8-3)

今回は、「領域(地図)」「標高」「計算の開始時刻」「海水面温度」「陸地の特性」のそれぞれの項目を実験内容によって変更しなければならないため、必要な値を代入した条件設定画面を実験ごとに用意した。

学習プリント

2年 組 番 氏名 _____

★課題

自分たちの班の実験：（日本海・日本列島（標高なし・陸なし）・太平洋）上で
海面温度を10℃（ 高く ・ 低く ）する実験

★実際に起こった台風と比べて、気象要素はそれぞれどうなるのだろう。

気象要素	予想	結果
中心気圧		
降水量		
規模		
風力		

★結果を見て、気づいたこと・わかったことを記入しよう。

★考察：どうしてそのような結果になったのか考察しよう。

★まとめ

図 8-1 学習プリント (C 組)

2015年7月17日(9:00)の実際の日本列島上の台風

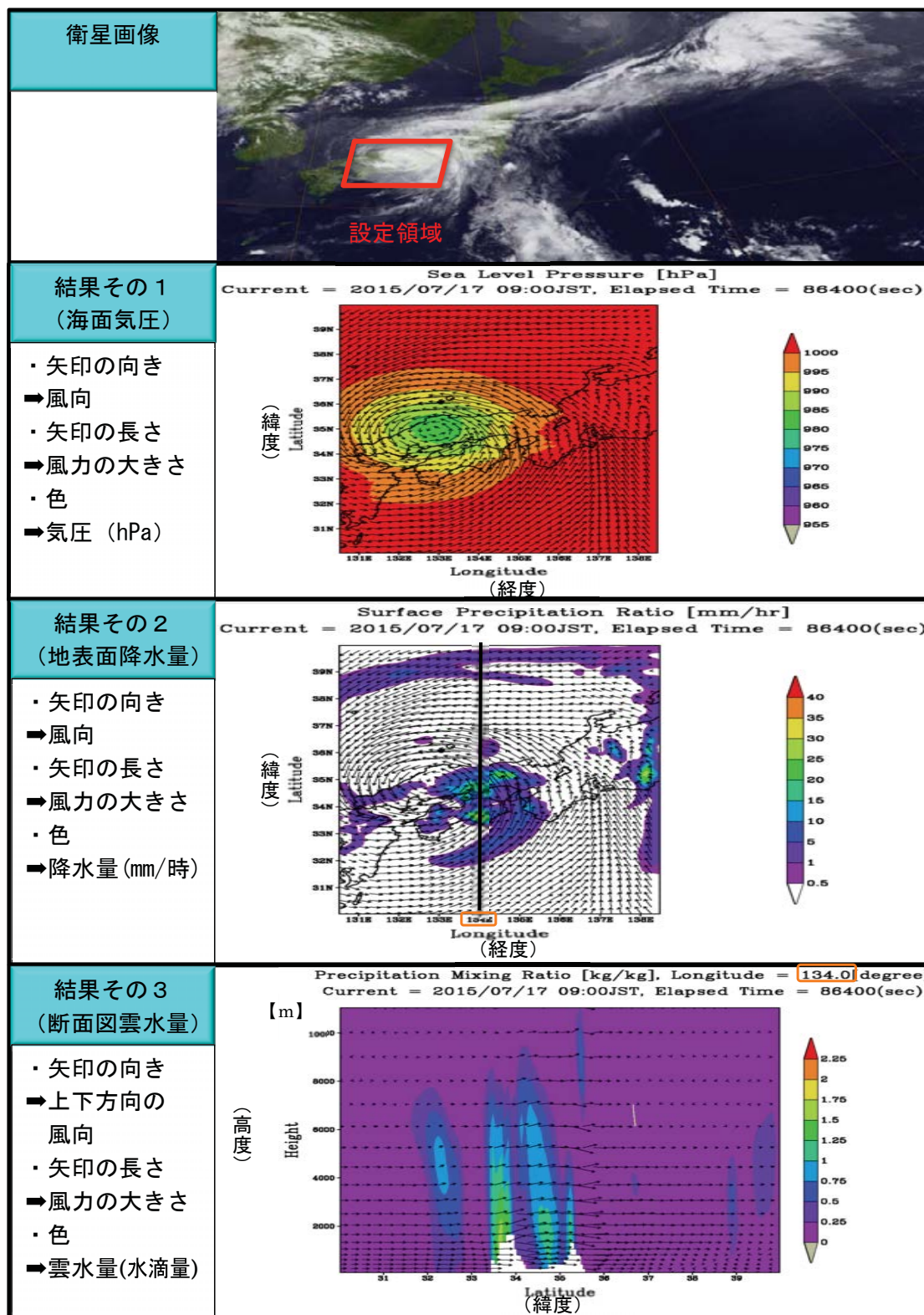


図 8-2 実験結果の表示要素説明プリント例 (日本列島上7月17日9時の結果)

日本列島上の台風の実験(11°C) ※陸なし

Web-CReSS for Educator | 192.168.220.129/settings.html?ID=11

2015年7月15~17日の海上の台風

左下緯度 32.5 度 右上緯度 37.5 度
 左下経度 132 度 右上経度 137 度

地図表示

水平方向の格子幅	5km
標高設定の選択	標高なし
計算の開始時刻	2015年7月16日午後9時
予測計算の終了時間	12時間
海面温度 [°C]	11
結果ファイルの出力間隔	60分
陸地の特性の変更	海
X方向格子数: 100 Y方向格子数: 100	
時刻み: 6 秒	

計算する

図 8-3 条件設定用プリント (日本列島上の台風の実験設定の例)

8. 1. 5 実際に授業した内容と生徒の反応

1 時間目の授業は、A 組と B 組で実施した授業内容（7. 1. 5）とほぼ同じであったため、ここでは 2 時間目の授業内容について主に述べていく。

1 時間目の最後に予定していた数値実験の条件設定であるが、「Web-CReSS for Education」を各班の USB に入れる時間がなかったため、班の代表者に実験する内容を選択してもらい、どのような実験を行うかを確認するのみとなった。授業終了後、各 USB に実験ソフトを入れて、各班が選択した実験を全て実行し、2 時間目に実験結果を見られるように準備した。

2 時間目は、実際に生徒が条件設定することができなかったため、導入でどのように条件設定をしたかをデモンストレーションで説明した。その後、それぞれの実験結果と実際のシミュレーション結果を画面上で見比べながら地形や温度による台風の変化について考察した（図 8-4）。結果の確認には、実験した画像と「海上の台風（2015 年 7 月 16 日の例）-結果だけを見る-」の画像を用いたが、計算領域と格子間隔が異なっていたため、比較しづらいという声があがった。特に、同じ地点における風力を比べるために矢印の長さを定規で測ろうとしたところ、縮尺が違うから比べられないという意見が多かった。また、海水面温度変化に加えて地形を変化させた班は、やはり考察しにくい様子であった。しかし、風力以外の考察は十分行うことができていると考える。「標高なし」を選択した班は、山がないから上昇気流が起きにくいため台風は大きくならなかったのではないかと、陸地をなくして海にした班は、陸がないから海からの水蒸気量が変わらないため台風の大きさはほとんど変わっていない、などと考察していた。

全ての班の実験結果を共有するために、自分たちの班の実験結果と考察を口頭で発表してもらい、それを私が板書し、結果を共有する形をとった。ところが、板書するのに時間がかかってしまい、10 種類中 6 種類の実験の結果しか確認することができなかった（図 8-5）。そこで、授業内で終わらなかった残りの実験結果の確認と考察などについては、附属中学校の伊藤貴洋先生に、フォローしていただいた。その時の授業のおおまかな授業の流れは、課題を「標高なしにすると海水面温度を 10℃下げても台風が強い勢力なのはなぜだろう」とし、その原因について考察する、というものであった。この授業内容は、後ほど述べる D 組の授業として考案していた授業である。

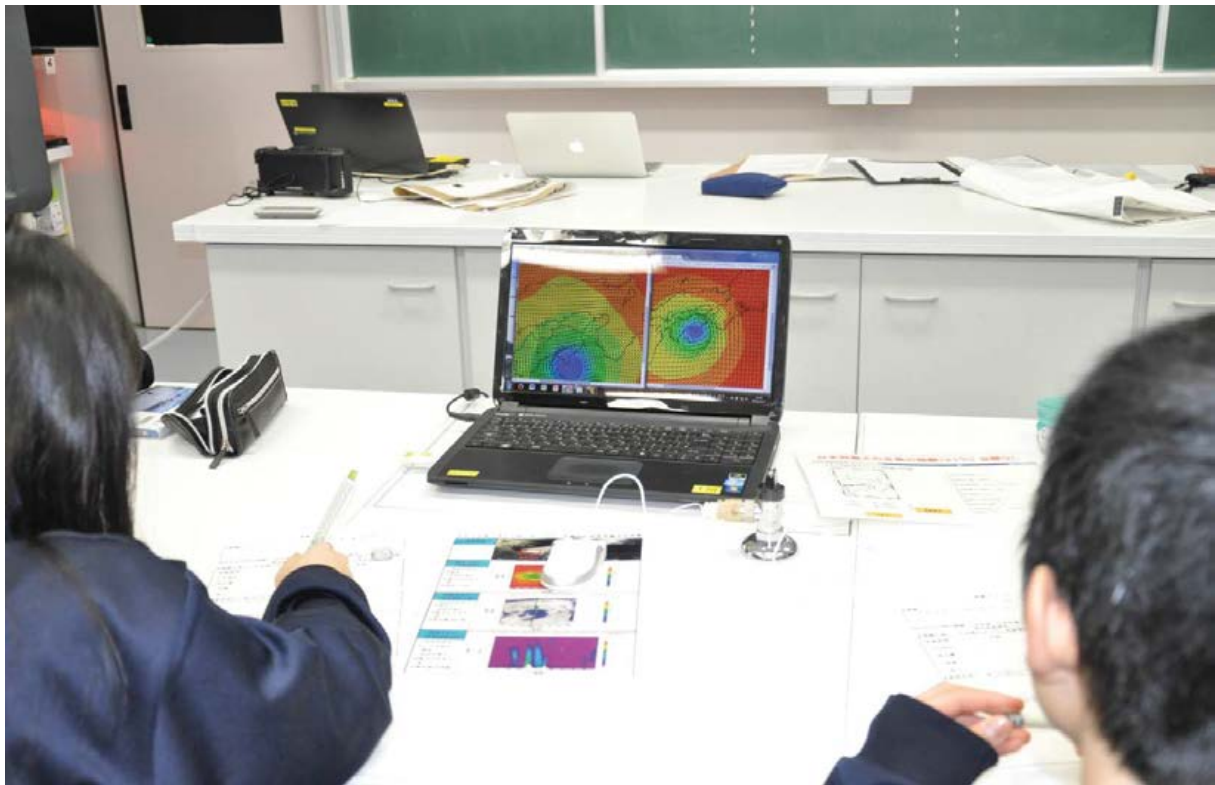


図 8-4 実験結果と実際のシミュレーション結果を比較している様子 (C組)

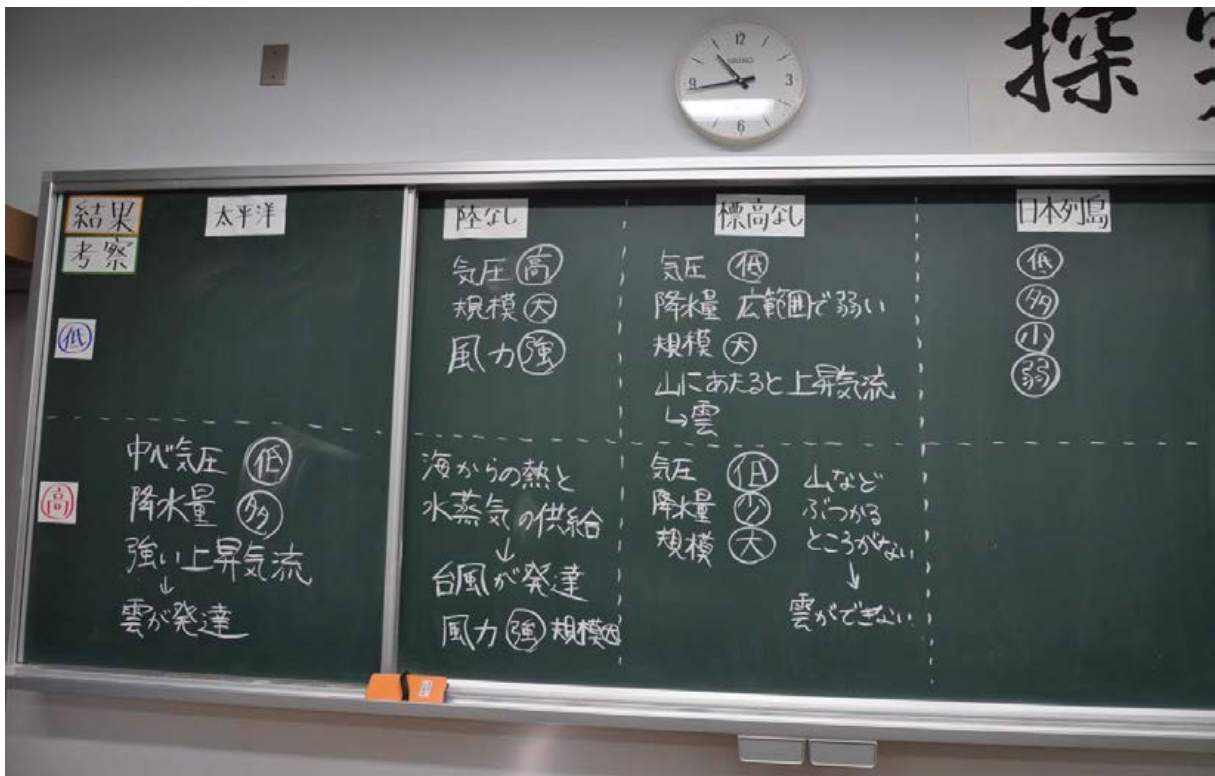


図 8-5 C組2時間目終了後の板書

学習プリント

2年 C組 番 氏名

★課題

海水面温度や地形を変化させると、台風はどのように変化するのだろうか。

自分たちの班の実験：（日本海・日本列島（標高なし・陸なし）・太平洋）上で
海水面温度を10℃（高く・低く）する実験

★実際に起こった台風と比べて、気象要素はそれぞれどうなるのだろう。

気象要素	予想	結果
中心気圧	高い	低い
降水量	多い	多い
規模	広い	大きい
風力	強い	強い

★結果を見て、気づいたこと・わかったことを記入しよう。

◦ 風向きは（反時計回り）

★考察：どうしてそのような結果になったのか考察しよう。

北上してきた台風は、あたにかい海からの熱と水蒸気の補給が少なくなると、弱まるが、海水面温度を10℃上げたことにより、その勢力が普通の台風より弱まりにくくなったから。

台風はあたにかい海上で発達した
 熱の補給は台風が発生したあたにかい海上とあり海水面温度が変わらなから、そのため、上昇気流が発生

★まとめ

水温が上がる → 台風強くなる
 気温低くなる
 ◦ 熱の補給ができたから
 上昇気流
 ◦ 水が蒸発し、雲の発達
 ② 今回習ったことを上手に組み合わせ、自分だけの考えを導き出すのはとても楽しかった。もし、時間があるならば、考察と合わせて、他の班の考えも知りたいと思った。

図8-6 生徒が記入した学習プリント（C組）

8. 1. 6 改善した授業実践の内容と使用した教材 (D組)

C組での授業の反省を生かし、2時間目の指導案(表8-3)やプリントの修正、補助教材の追加を行い、D組の授業を実施した。なお、1時間目の指導案はC組と同じであるため、2時間目の指導案のみを示す。

まず、C組の授業を通して改善しなければならぬと感じたのが、説明時間の時間短縮と考察時間の時間確保である。生徒の意見を全て黒板に並べて、その結果から海水面温度や地形の変化による台風の変化について考えさせたいと思ったため、私が板書するのではなく、班ごとの実験結果をホワイトボードに記入させることにした。

次に、改善すべき点は、実験結果と実際のシミュレーション結果画像の、計算領域と格子間隔を同じものにする点である。両者の領域の違いから、風力などの比較が大変だったという生徒の意見から、既存の「-結果を見る-」は用いずに、あらかじめ生徒と同じ計算時間・領域・格子間隔でシミュレーションした結果をPC内に用意し、同じ大きさの画像で結果を見比べることができるようになった(図8-7)。

以上の工夫を行うことにより、最終的に全ての実験結果を黒板に並べることができた(図8-8)。これらの結果をもとにした3つの考察(課題)を提示し、海水面温度や地形の変化によって台風が変化する原因をみんなで考えて理解を深めていきたいと考えた。その3つの考察とは、以下の3つである。

- ①海水面温度を高くすると、なぜ台風は発達するのだろうか。
- ②海水面温度を10℃下げたのに、なぜ「陸なし」だけ台風が発達するのだろうか。
- ③日本列島上は、なぜ「標高なし」より降水量が多くなるのだろうか？

しかし、実際の授業では考察①までしか進めることができなかった。そのため、考察②については授業実践後、附属中学校の伊藤貴洋先生に、フォローしていただいた。

授業で使用した教材は、1時間目に使用した「10秒後の温度を計算で求めよう！」プリント、計算補助シート、条件設定用プリントは、C組の授業で用いたものと同じものを使用した(8.1.4参照)。

2時間目で使用する学習プリントは、考察3つが入るようなスペース(欄)を設けた(図8-9)。実験結果の表示要素説明プリントは、以前までのものよりも画像を大きくし、文字は必要最小限にすることで必要な情報だけをピックアップして見られるようにした(図8-10)。

新たな補助教材として、実験結果まとめ比較表を用意した(図8-11)。黒板に全ての実験結果が並ぶだけで、それぞれの実験結果について理解できると思うが、図で確認したほうが理解を深められると思い、比較表を用意した。考察①をする際も前の黒板のホワイトボードの結果と手元の比較表の画像の2つをもとにして議論を進めた。

表 8-3 学習指導案 (D組 2時間目)

段階	学習活動及び学習内容	時間 (分)	■使用した教材 ○指導上の留意点など
導入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前回実験した結果を見て、台風の大きさや降水量が、実際の台風と比べてどのようになっているのか調べることを確認する。 <p>2 課題把握</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>海水面温度や地形を変化させると、台風はどのように変化するのだろうか。</p> </div>	3	<p>■学習プリント (図 8-1)</p> <p>○考える視点 (台風の大きさや風向) を与える。</p>
展開	<p>3 予想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分たちが設定した条件では、台風がどのように変化しているのかを班ごとに予想する。 <p>4 実験結果の見方確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際の台風の計算結果を見るとともに、実験で見ることができる結果 (海面気圧・地表面降水量・雲水量) を確認する。 <p>5 実験結果確認・話し合い</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分たちが行った実験結果を見て、台風がどのように変化しているのか確認する。 ・ホワイトボードに結果を記入し、黒板に掲示する。 <p>6 考察</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実験結果から、海水面温度や地形を変化させたときの台風の変化について考察する。 <ul style="list-style-type: none"> ①海水面温度を高くすると、なぜ台風は発達するのだろうか。 ②海水面温度を 10℃下げたのに、なぜ「陸なし」だけ台風が発達するのだろうか。 ③日本列島上は、なぜ「標高なし」より降水量が多くなるのだろうか? 	<p>6</p> <p>1 1</p> <p>2 6</p> <p>4 4</p>	<p>○実験結果は、12 時間後のみを見る。</p> <p>■実験結果の表示要素説明プリント (図 8-2)</p> <p>○実際の台風と自分たちの実験結果を対比して見られるよう、PC 画面上に 2 つのタブを用意する。</p> <p>○生徒が発表しているときは、プロジェクターに実験結果を表示し、全員が結果を共有できるようにする。</p>

<p>終 結</p>	<p>7 まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・考察したことを交えながらまとめを記入する。 ・他の班の実験結果や考察を聞いて、参考になるところや共通しているところは取り入れて、まとめを完成させる。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>例) ・海水面温度を高くすると、蒸発量が増え、水蒸気量が多くなるため、台風が発達しやすい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地形（標高）があると、山に沿って風が上昇し、上昇気流が生じる。それによって、雲が発生しやすくなり、台風の規模が大きくなったり、降水量が増えたりする。 ・台風の発達には、水蒸気量の供給が必要である。 </div>	<p>○生徒が発表した内容をもとに本時のまとめを行う。</p> <p style="text-align: center;">50</p> <p>○伊勢湾台風の3D動画を最後に見せる。</p>
----------------	---	--



図8-7 実験結果と実際のシミュレーション結果を比較している様子 (D組)

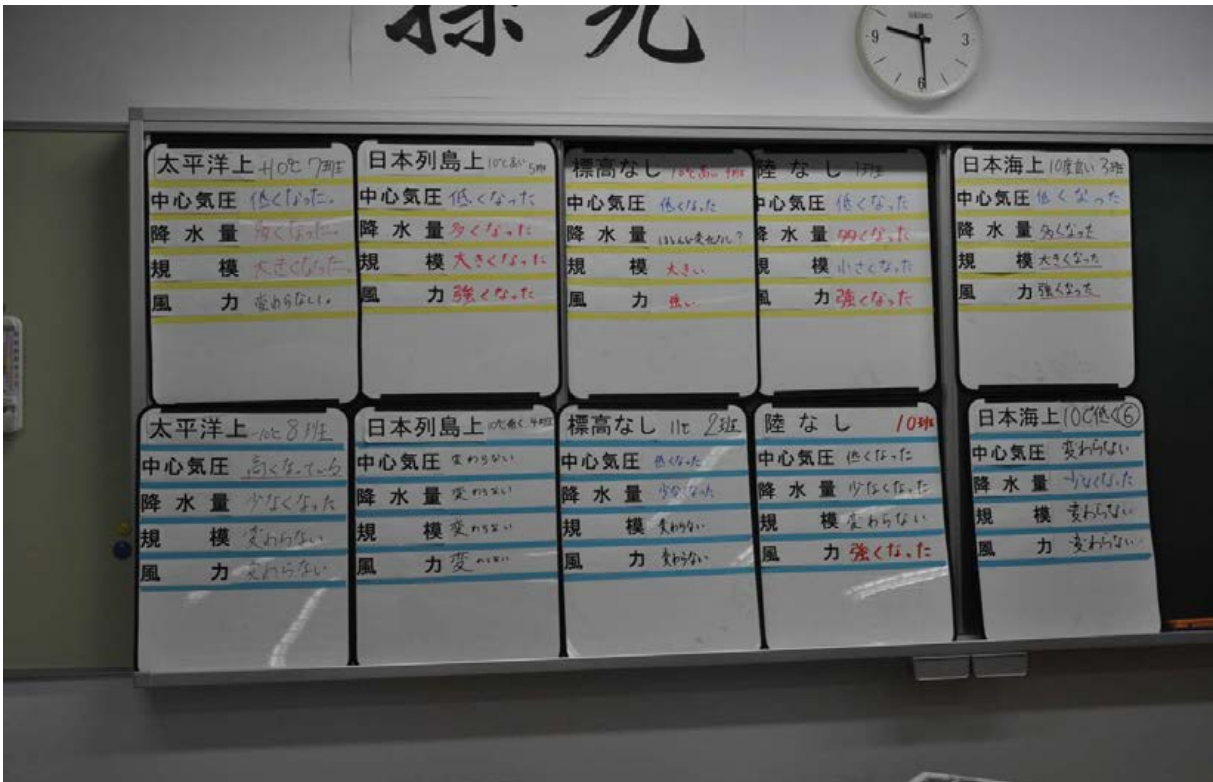


図8-8 全ての実験結果が黒板に並んでいる様子

学習プリント

2年 組 番 氏名 _____

★課題

自分たちの班の実験：(日本海・日本列島(標高なし・陸なし)・太平洋)上で
海水面温度を10℃(高く・低く)する実験

★予想・結果

気象要素	予想	結果
中心気圧		
降水量		
規模		
風力		

★考察①：

★考察②：

★考察③：

★まとめ

図 8-9 学習プリント (D組)

実際に起きた太平洋上の台風(2015年7月16日21:00)

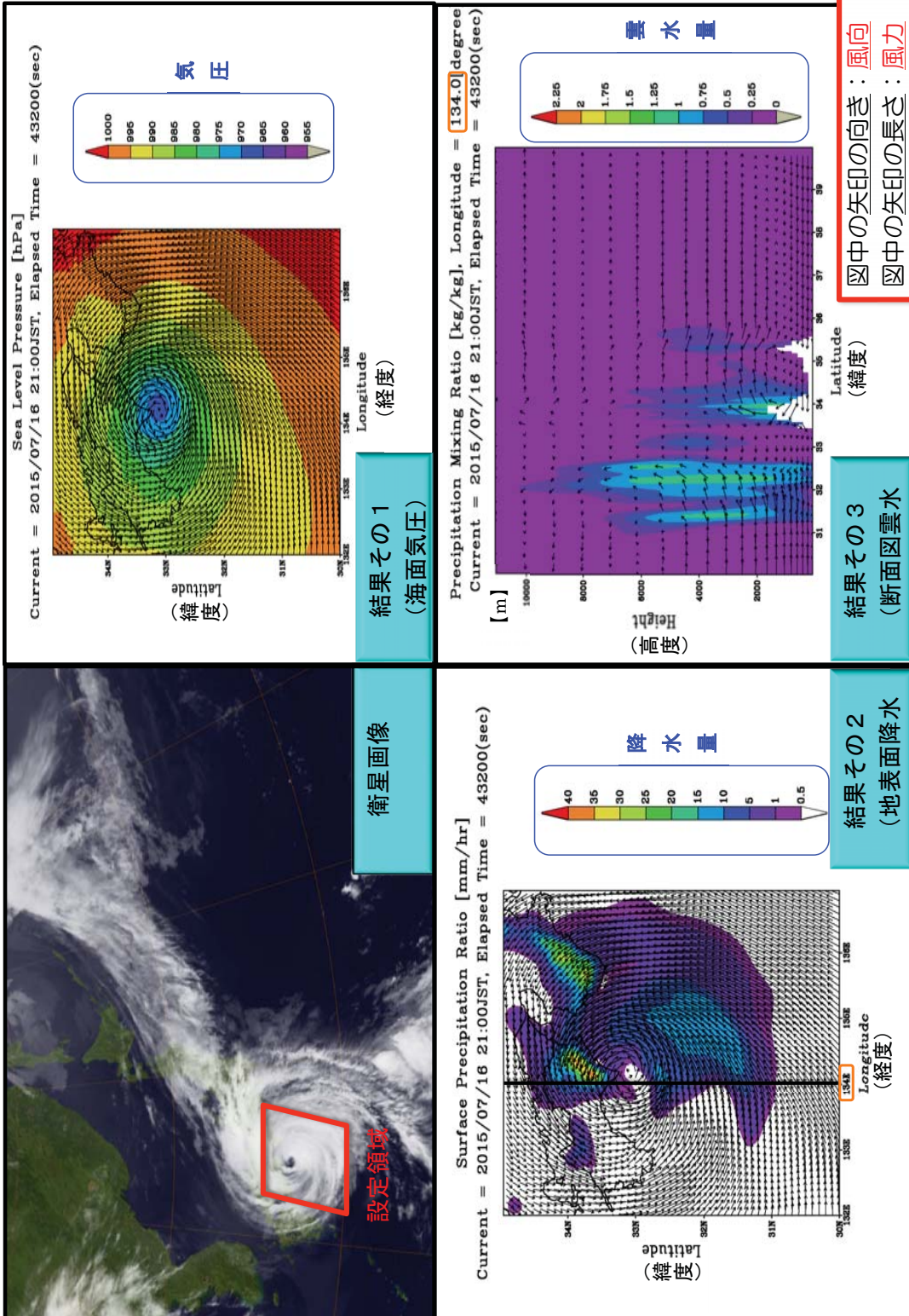


図8-10 実験結果の表示要素説明プリント

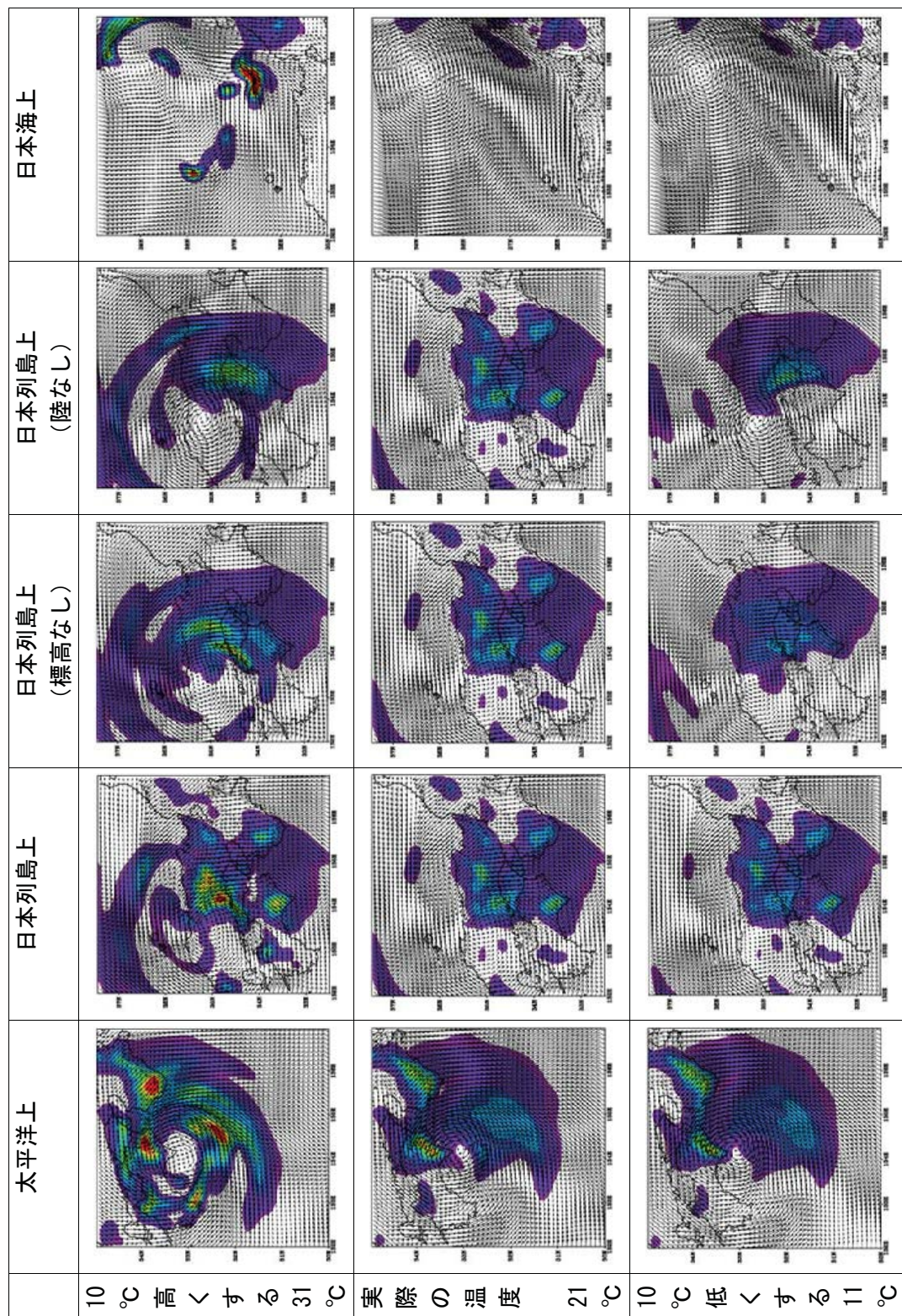


図 8-11 実験結果まとめ比較表

8. 1. 7 各クラスの考察

生徒たちは、海水面温度や地形を変化させる 10 パターンの実験にそれぞれ取り組み、実験結果を得た。そして、その実験結果となる原因について考察した。

まず、生徒たちが得た計算開始時刻から 12 時間後の、「太平洋上の台風」「日本列島上の台風」「日本海上の台風」の実験結果をそれぞれ示す（太平洋上の台風は 2015 年 7 月 16 日 21 時、日本列島上の台風は 2015 年 7 月 17 日 9 時、日本海上の台風は 2015 年 7 月 18 日の結果を示している）。ここで示す 3 つの図は、実際の授業で生徒たちに配った「実験結果まとめ比較表」（図 8-11）である。

・実験結果

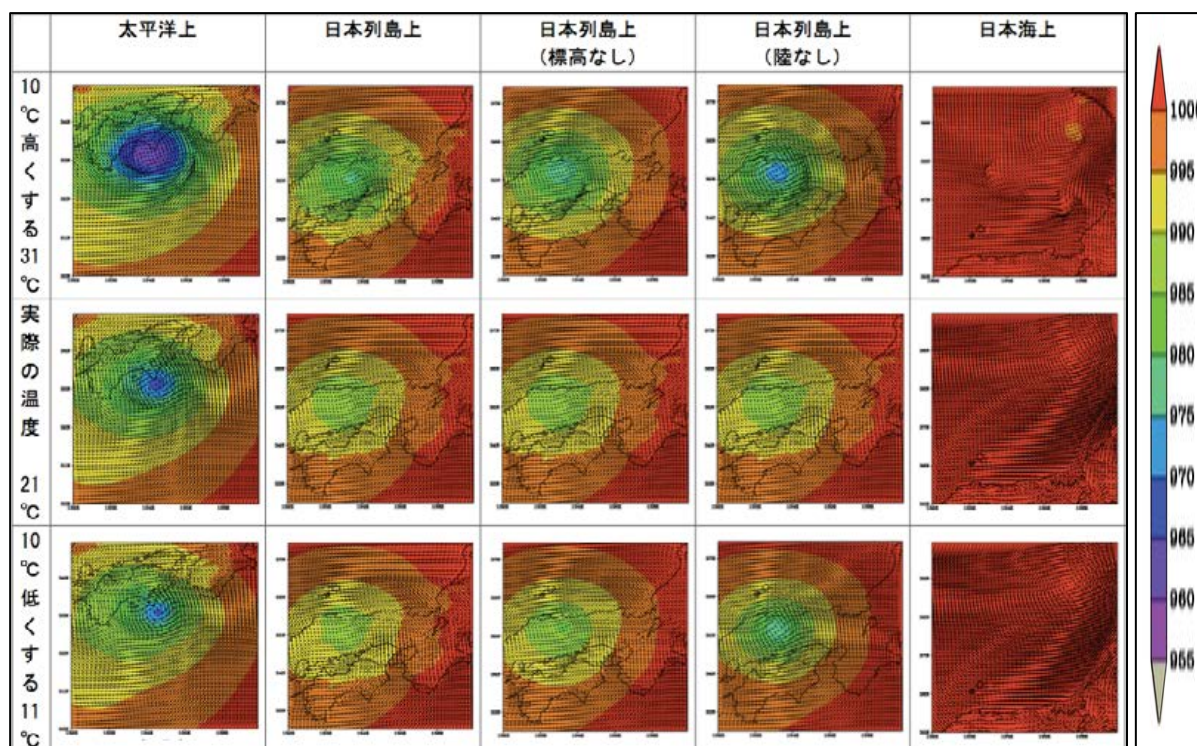


図 8-12 実験結果その 1（海面気圧）

海水面温度を下げると空気が収縮するため、下降気流が発生して中心気圧が高くなっている。海水面温度を高くすると空気が膨張するため上昇気流が発生して中心気圧が低い部分が大きくなっている。特に、「太平洋上」の台風は日本列島に上陸する前の台風であるため、他の実験結果に比べて勢力が大きい。一方、「日本列島上（陸なし）」の結果を見ると、元の地形の「日本列島上」より中心気圧が低くなっていることがわかる。このような結果となったのは、「日本列島上（陸なし）」は陸がない、つまり海上の台風と同じ条件であるため、「日本列島上」より中心気圧が低くなったのだと考えられる。

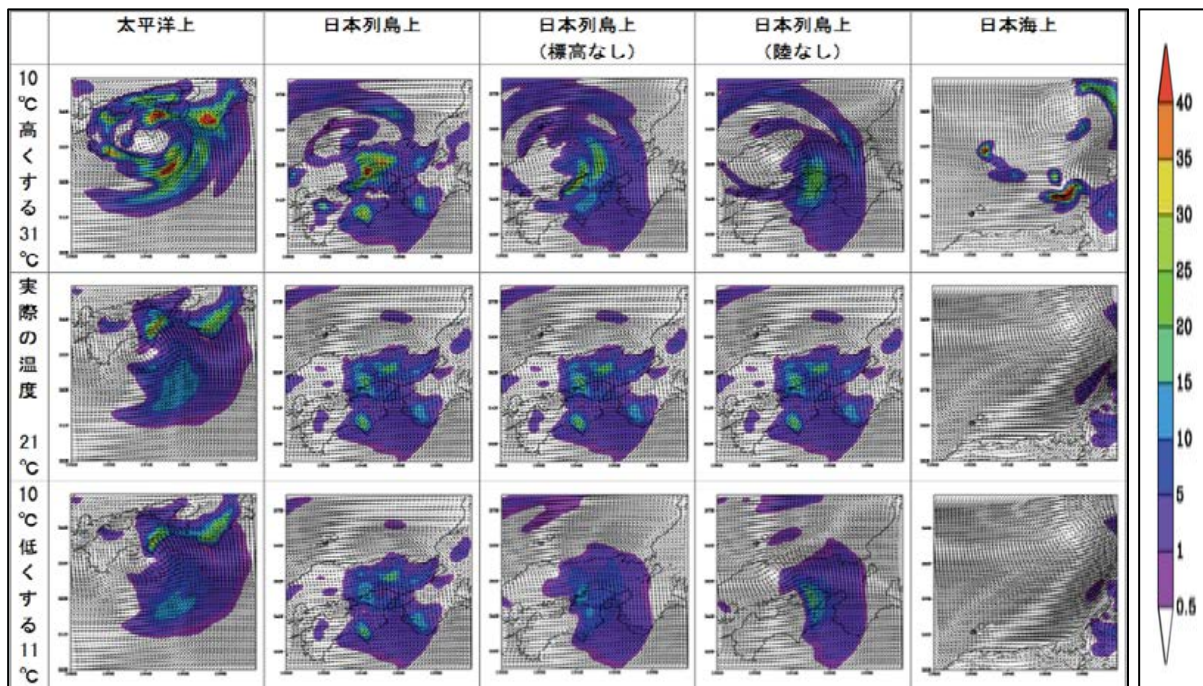


図 8-13 実験結果その 2 (地表面降水量)

全体的に海水面温度を下げると、海からの蒸発量が少なくなるのに伴って地表面降水量が少なくなり、海水面温度を上げると海からの蒸発量が多くなるのに伴って、地表面降水量が多くなっているのが確認できる。同じ温度の実験結果であっても、「太平洋上」では海からの水蒸気の供給量が多いため、降水量が多くなっており、「日本列島上」、「日本海上」と推移していくにつれて、海からの水蒸気供給量が減るため降水量が少なくなっている。また、「日本列島上」では、山の手前などで上昇気流が起きていて、降水量が多い部分がところどころに存在しているが、「日本列島上 (標高なし)」「日本列島上 (陸なし)」では、全体的に同じくらいの降水量の領域が広がっている。つまり、この結果から地形によって雨が降る範囲が異なることがわかる。

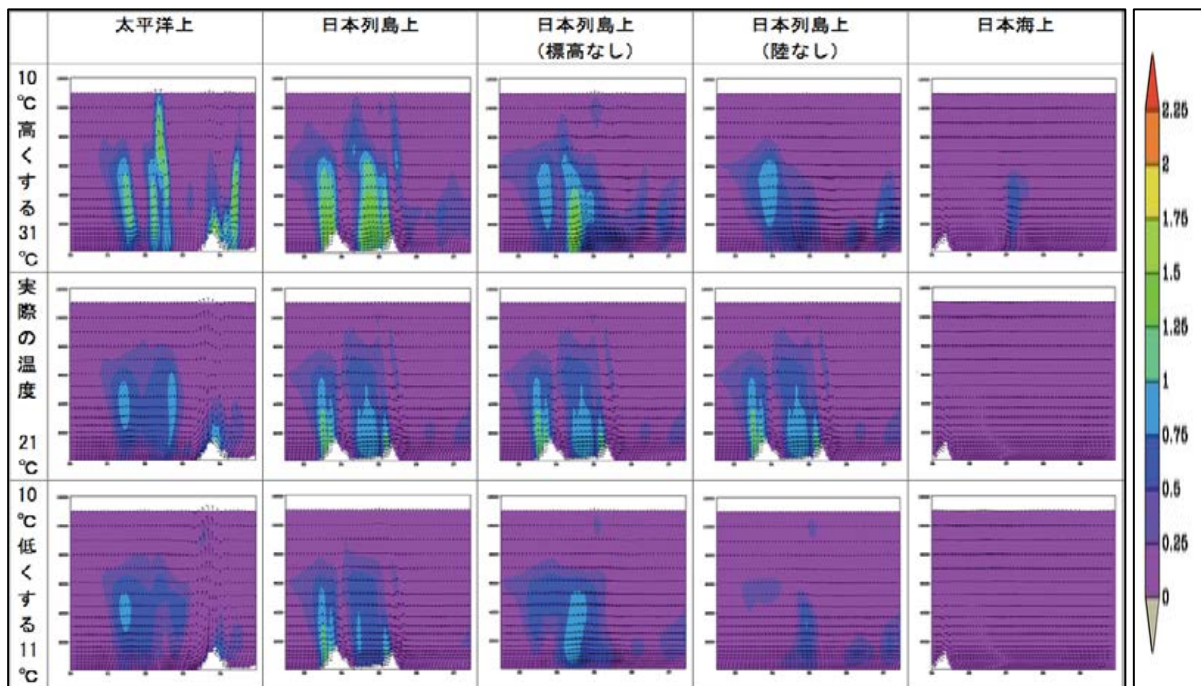


図 8-14 実験結果その 3 (断面図雲水量)

断面図の領域は、「太平洋上」東経 134 度・北緯 30 度～35 度、「日本列島上」東経 134 度・北緯 32.5 度～37.5 度、「日本海上」東経 134 度・北緯 35 度～40 度である。

海水面温度を下げると、蒸発量が少なくなるため、元の海水面温度のときよりもやや雲水量が少なくなる。海水面温度を上げると蒸発量が多くなるため、雲水量が多くなっている。また、地形(山)があるところで上昇気流が発生している。特に、海水面温度を 10℃ 高めた「日本列島上」の実験結果は、海水面温度が高くなったことによって蒸発量が増え、さらに地形の効果で上昇気流が起こったことで、雲水量が多くなっている。ただし、断面図は、最も雲が発達している部分を切り取っているわけではないため、この結果から一概に台風の規模を決めることはできないが、おおよその規模は推定することができる。

次に、実際に生徒がプリントに記入した考察の一部を、実験ごとに示す。

・ C 組の考察

【太平洋上で海水面温度を 10℃ 高くする実験】

海上で水蒸気の補給が多いため規模は大きくなったのではないか。海面の温度が上昇し上昇気流、水蒸気量が大きくなったため降水量が奥まったのではないか。

【太平洋上で海水面温度を 10℃低くする実験】

温度が低いと上昇気流が起きない。温度が高いと蒸発し水を吸い込み、規模が大きくなるが、低いと規模は小さくなっていく。

【日本列島上で海水面温度を 10℃高くする実験】

水温が上がると台風が強くなる。中心気圧もそれに伴って低くなる。

【日本列島上で海水面温度を 10℃低くする実験】

あたたかい海からの熱と水蒸気が減り、熱帯低気圧になったり、温帯低気圧に変わったりする。

【日本列島上を海にして海水面温度を 10℃高くする実験】

陸がなく、海水面温度が高いことかで、台風が海から熱と水蒸気を十分に取り込むことができ、その結果大きくなった。

【日本列島上を海にして海水面温度を 10℃低くする実験】

陸がないため海からの熱と水蒸気の補給が多くなるため規模が大きくなり、降水量は多くなる。

【日本列島上を標高なしにして海水面温度を 10℃高くする実験】

山に雲がぶつかり降水量が増え、山に風が遮られていて規模が小さくなりやすかったが、さえぎるもの、ぶつかるものがなくなったから台風は大きくなる。

【日本列島上を標高なしにして海水面温度を 10℃低くする実験】

雲が山などにあたり、局地的な降水が起こることが無かったから規模が大きくなったのではないか。

【日本海上で海水面温度を 10℃高くする実験】

水温が上がる→台風が強くなる。熱の補給ができたから水が蒸発し（上昇気流が発生し）雲の発生。

【日本海上で海水面温度を 10℃低くする実験】

海水面温度が低いと、気温が低くなるので、上昇気流ができなくなるため台風が弱まる。

・ D組の考察

【考察①：海水面温度を高くすると、なぜ台風は発達するのだろうか。】

- ・ 水の温度の上昇によって周りの空気が上がり膨張して上昇する。
- ・ 上昇気流が発生し、低気圧となる。
- ・ 海水面温度を高くすると、飽和水蒸気量が増えて、台風の水蒸気量も増えるから。

【考察②：海水面温度を10℃下げたのに、なぜ「陸なし」だけ台風が発達するのだろうか。】

- ・ 風がさえぎられないため、湿った空気が流れ込みやすい。
- ・ 山の上で空気が冷たくなるが、山がないので空気は冷たにならない。
- ・ 標高0mということは、山がないから海からの水蒸気量を持った風が運ばれやすく、台風は水蒸気を吸って大きくなるから勢力は落ちないと思う。
- ・ 季節風により、太平洋からの湿った空気が流れ込むから台風が大きくなる。

以上のように、C組・D組の両クラスは、海水面温度や地形が変化することによって、台風が発達したり衰退したりする原因を様々な角度から考察することができていた。そして、数値実験の結果が得られる原因を考察することで、台風のメカニズムを理解することができたのだと考える。

8. 2 プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察

8. 1までに記述したような授業を行ったことで、授業前後に数値実験に関する理解や台風の現象理解に差が生じるのかを明らかにするため、プレテスト・ポストテストを実施した。

8. 2. 1 問題内容

プレテストとポストテストの内容は、上田中学校や附属中学校 A 組・B 組で実施したものと同一のものを使用した（表 7-4、表 7-5）。ただし、10 問目の「上田中学校で～」は、附属中学校のテストでは、「附属中学校で～」という文言に変更した。

8. 2. 2 テスト結果・統計分析結果

プレテスト・ポストテストで授業に関係する 15 項目の平均点は、表 8-4 に示す。

表 8-4 各クラスの平均点（15 点満点）

	プレテスト（点）	ポストテスト（点）
C 組（n=37）	10.7	12.6
D 組（n=37）	11.0	12.4

授業前から授業後を比べると、C 組が 1.9 点、D 組が 1.4 点、平均点が上がるという結果となった。また、C 組と D 組を比べると、プレテストでは D 組の点数が 0.3 点高く、ポストテストでは C 組の点数が 0.2 点高くなった。平均点で見られた差や授業前後に理解度の差は、統計的に有意な差であるのかどうかを調査する。

8. 2. 3 C 組と D 組の理解度の検証

C 組と D 組で、授業前の理解度と授業後の理解度にそれぞれ差があるのかを確かめるために、危険率 5%（信頼度 95%）で、t 検定を行う。

表 8-5 C 組と D 組の授業前・授業後の理解度の検証

	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値（両側確率）
授業前 (プレテスト)	なし	<u>-0.596</u>	1.99	0.553
		$-0.596 < 1.99$		$0.05 < 0.553$
授業後 (ポストテスト)	なし	<u>0.600</u>	1.99	0.550
		$0.600 < 1.99$		$0.05 < 0.550$

以上の結果より、プレテストとポストテストの結果どちらも、C 組と D 組の間に有意差は見られなかった。

8. 2. 4 授業前後の理解度に関する検証

今回の授業内容で重視している、数値実験に関する理解と台風の理解に有意差があるのかを明らかにするため、危険率1%（信頼度99%）でt検定をした。対象とする問題は、今回の授業に関係している15項目のみである。

表8-6 授業前後の理解度の検証

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.995)	P 値 (両側確率)
C 組 (n=37)	あり	<u>-6.61</u>	2.72	1.08E-7
		2.74 < 6.61		1.08E-7 < 0.05
D 組 (n=37)	あり	<u>-4.38</u>	2.72	0.102E-4
		2.72 < 4.38		0.102E-4 < 0.05
2 クラス (n=74)	あり	<u>-7.67</u>	2.65	6.24E-11
		2.65 < 7.67		6.24E-11 < 0.05

両クラスで、授業前後に有意差があるという結果となった。また、2クラス対象に検定をしても、授業前後の理解度に有意な差があるということがわかった。

8. 2. 5 授業前後の理解度に関する設問ごとの検証

15項目の統計分析で、授業前後に有意差があるという結果となったが、具体的にどの設問項目に有意差があったのかを検証することにした。設問ごとに危険率5%（信頼度95%）でt検定を行い、授業前後に有意差がある内容を検証する。

表8-7 設問別理解度の検証

設問	有意差	t 値	t 値境界値(0.95)	P 値 (上側確率)
4. 台風が発生する環境について	なし	<u>-0.469</u>	1.99	0.641
		0.469 < -1.99		0.05 < 0.641
6. 天気予報の作成方法について	あり	<u>-3.04</u>	1.99	0.325E-3
		-1.99 < 3.04		0.325E-3 < 0.05
7. PC の処理能力について	あり	<u>-2.26</u>	1.99	0.0268
		1.99 < 2.26		0.0268 < 0.05
8. 気象観測データの重要性について	あり (負)	<u>2.24</u>	1.99	0.0280
		1.99 < 2.24		0.0280 < 0.05
9. 数値実験の時間・格子間隔について	なし	<u>-1.18</u>	1.99	0.242
		1.18 < 1.99		0.05 < 0.242

10.気温上昇に伴う将来の気温の求め方	なし	<u>-1.14</u>	1.99	0.260
		1.14 < 1.99		0.05 < 0.260
11.気象状態の求め方について	あり (負)	<u>6.69</u>	1.99	3.89E-9
		1.99 < <u>6.69</u>		1.70E-05 < 0.05
12.気象観測データの取得について	なし	<u>-0.815</u>	1.99	0.418
		0.815 < 1.99		0.05 < 0.418
14.台風の目の様子について	なし	<u>-0.257</u>	1.99	0.798
		0.257 < 1.99		0.05 < 0.798
15.台風の暴風域の気象について	なし	<u>-1.54</u>	1.99	0.127
		1.54 < 1.99		0.05 < 0.127
16.海水面温度変化による台風変化について	あり	<u>-5.30</u>	1.99	1.17E-6
		-1.98 < 5.30		1.17E-6 < 0.05
17.日本列島上陸後の台風について	あり	<u>-8.86</u>	1.99	3.39E-13
		-1.99 < 8.86		3.39E-13 < 0.05
18.台風の風の吹き込みについて	なし	<u>-1.95</u>	1.99	0.0549
		1.95 < 1.99		0.05 < 0.549
19.台風の高さについて	なし	<u>-0.962</u>	1.99	5.82E-6
		-0.962 < 1.99		5.82E-6 < 0.05
20.台風の中心気圧について	あり	<u>-5.23</u>	1.99	1.57E-6
		1.99 < 5.23		1.57E-6 < 0.05

15項目中5項目で有意な差があるということがわかった。しかし、「気象観測の重要性」と「気象状態の求め方」の項目に関しては、負の有意差があるという結果になってしまった。

8. 2. 6 考察

C組・D組共に授業前後に有意差があることから、今回の授業を通して、生徒たちの数値実験や台風に関する理解を深めることができたのだと考える。また、設問ごとの検定では、授業で目的としていた台風や数値実験に関する項目に有意な差が認められたため、目的を意識した授業を行い、生徒の理解を深められたのだと考える。

しかし、「数値予報を行うためには、その地域の気象観測データが必要である」「天気(気象)の状態は、方程式(計算)を1つ解くことで推測することができる」と

いう2つの項目で負の有意差があるという結果になってしまった。つまり、授業を通して、数値予報で重要となる観測データ（初期値）や仕組み（計算）に関する誤概念を形成してしまったことが明らかとなった。1時間目の授業は、計算を全ての生徒に解かせることを重点的に考えて授業を構成し、教材を作成したため、数値実験の本質を理解させる授業になっていなかったのだと考える。計算ができるような工夫だけではなく、数値実験そのものを理解させるような工夫をさらに考えていく必要がある。

8. 3 授業後アンケート統計分析結果・考察

授業後は、ポストテストに加えて、5段階評価アンケートと自由記述アンケートを実施した。この結果をもとに、授業を通して生徒が理解できたことや感じたことを明らかにする。

8. 3. 1 アンケート内容

5段階評価アンケートの内容は、上田中学校や附属中学校 A 組・B 組で実施したものと同一のものを使用した（表 7-12）。

8. 3. 2 アンケート結果

表 7-12 のアンケートのそれぞれの項目に対して、生徒に 5 段階（5.とてもそう思う・4.そう思う・3.どちらとも言えない・2.そう思わない・1.全くそう思わない）で評価してもらった。クラスごとの平均値を示したグラフ（図 8-15）を以下に示す。

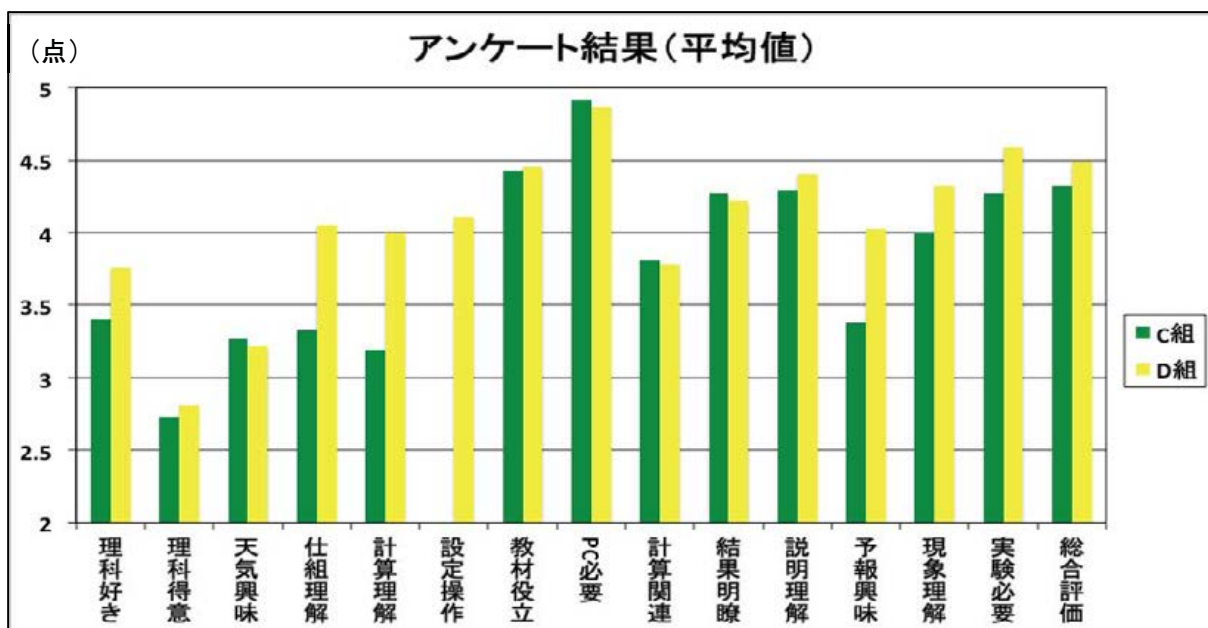


図 8-15 2クラス平均値（C組=37、D組=37）

C 組の「設定操作」の項目が空欄であるのは、C 組の授業の前にバージョンアップ版の「Web-CReSS for Education」を各班の USB に入れることができず、生徒自身に条件設定をさせられなかったからである。

全体的に D 組の平均点が高いことがわかる。特に「仕組理解」「計算理解」「予報興味」の平均点が C 組より 0.5 点以上高くなっている。

次に C 組・D 組それぞれの 5 段階回答率のグラフアンケート結果（図 8-16、図 8-17）を以下に示す。5 段階解答率のグラフの項目の並び順は、アンケートの項目順ではなく、5 や 4 の割合が多いものから順に並べている

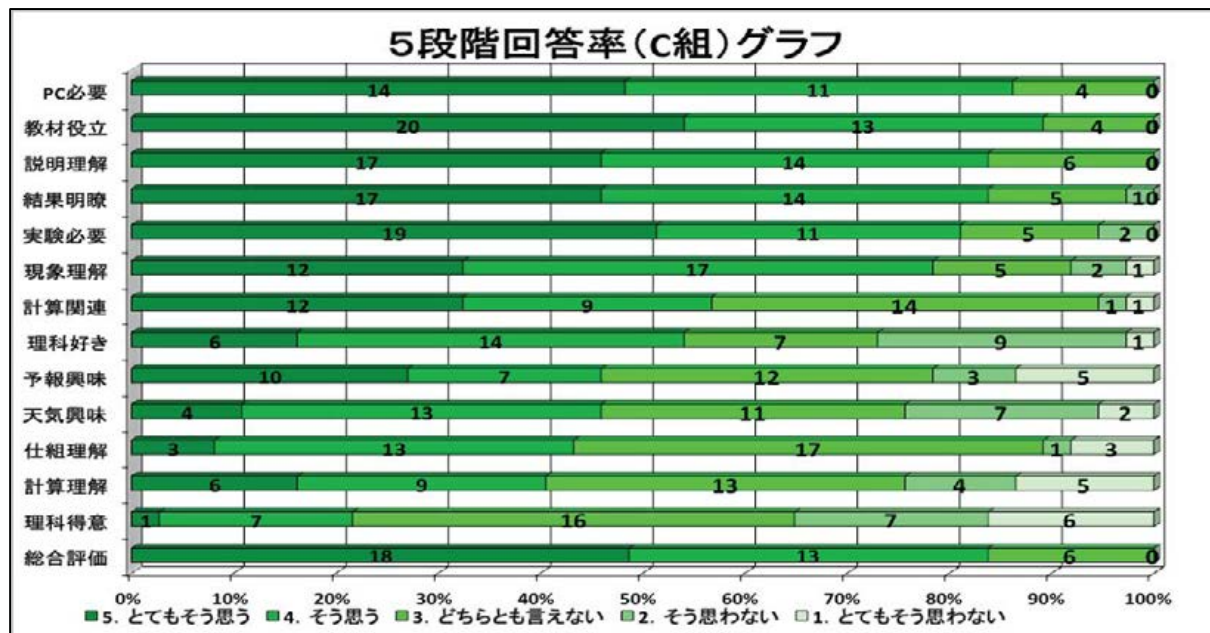


図 8-16 C 組 5 段階回答率 (n=37)

授業の目的としている「現象理解」の肯定的な回答を約 8 割の生徒が選択しており、数値実験を通して台風の仕組みを理解できたことがわかった。また、約 9 割の生徒が学習内容を理解するのに教材が役立ったと回答していた。しかし、「計算理解」の項目で約 3 割の生徒が、否定的な回答を選択していることも明らかとなった。

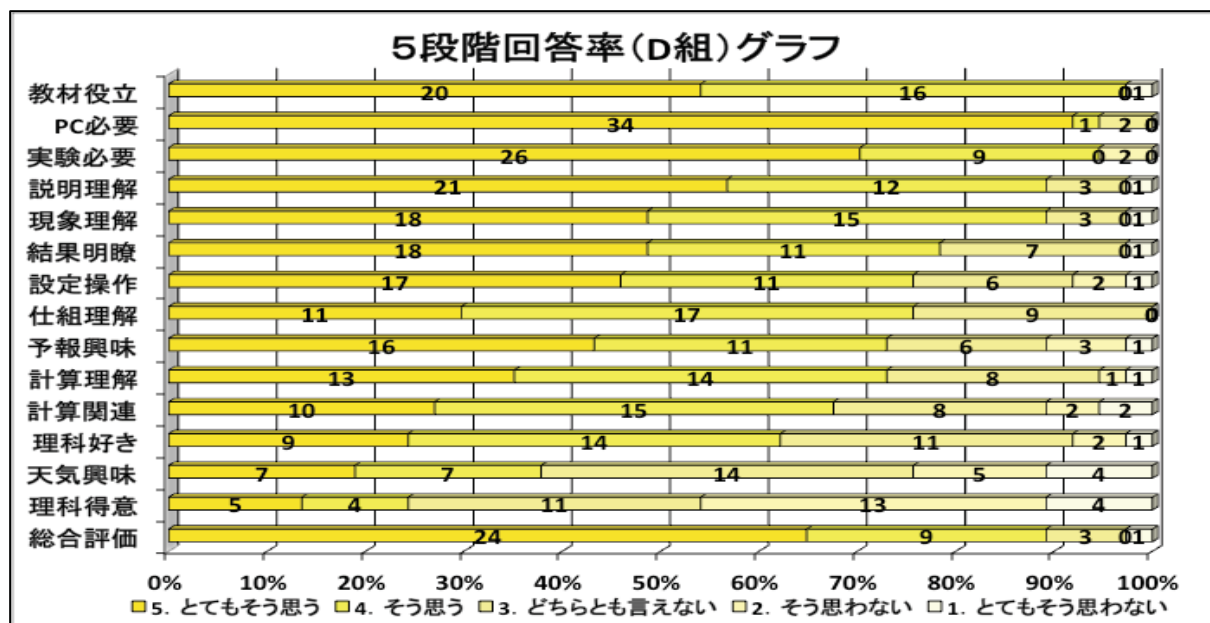


図 8-17 D 組 5 段階回答率 (n=37)

D組は授業に関係のある項目に関しては、ほとんどの項目で肯定的な回答をしている。特に、グラフの上位5項目と「総合評価」に対して、約9割の生徒が肯定的に答えている。しかし、1時間目の計算に関する内容に対しては、理解できなかったと感じている生徒がいることもわかった。

8. 3. 3 CS分析結果・考察

アンケート結果から、生徒が台風の構造や特徴について理解できたことが分かった。さらに台風の理解を深めるためには、どのような項目を改善すればいいのか求めるため、CS分析を用いて改善度を求めることにした。CS分析の目的関数を、5段階評価アンケートの15問目の「現象理解」とし、説明関数をC組は「設定操作」「総合評価」を除く他の質問項目とし、D組は「総合評価」以外の他の項目を質問項目とする。

2つのクラスを合わせたグラフは、対象となる説明関数の項目数が異なるためC組とD組それぞれのグラフのみを示す。

分析結果から求めた、クラスごとの改善度グラフ（図8-18、図8-19）を示す

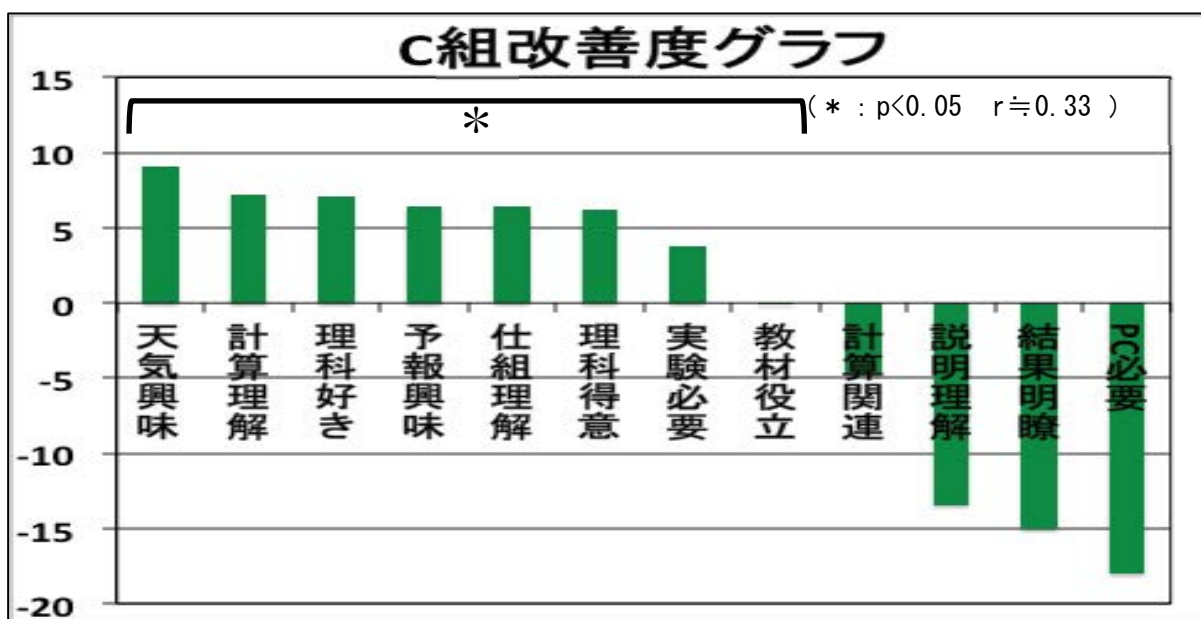


図8-18 C組改善度グラフ (n=37)

5段階評価アンケートの結果で「計算理解」の肯定的な回答が少なく、今回の結果からも改善度が高いということから、C組の生徒に移流方程式の計算を理解させることができなかったことがわかった。一方、「予報興味」の項目も改善度が高くなっている。新しいソフトが届いてすぐの授業で、授業準備が間に合わず、時間内に全ての班の実験結果を全員で確認することができなかった。また、生徒同士で考察する時間もほとんど確保することができなかったため、改善度が高くなったのだと考える。

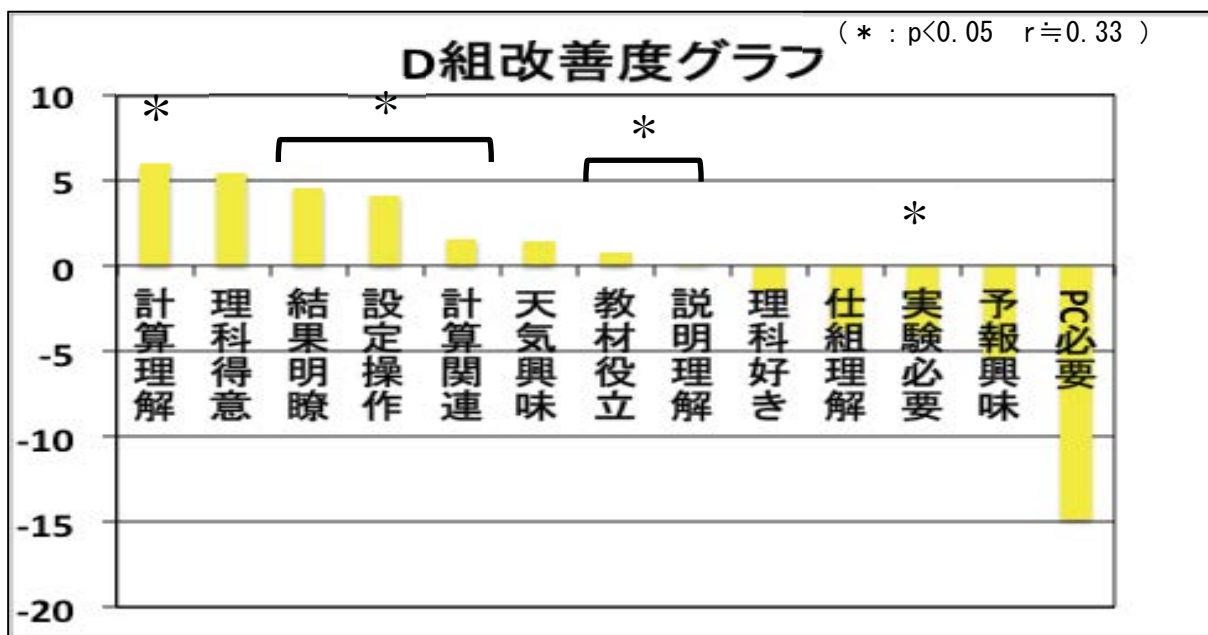


図 8-19 D組改善度グラフ (n=37)

C組と同様に「計算理解」の改善度が高いという結果となった。また、「結果明瞭」「設定操作」の改善度が高いことから、生徒が教材を利用しやすいように工夫していく必要があることが明らかとなった。しかし、「予報興味」「実験必要」の改善度が低いことから、生徒たち自身が様々な条件設定をして数値実験を行い、生徒たち同士で考察できたことによって数値予報に関する興味がわき、実験が必要であると感じたのだと考えられる。

8. 3. 4 自由記述アンケートの分析方法

プレテスト・ポストテストや5段階評価アンケートではわからなかったことを明らかにするため、授業後に実施した自由記述アンケートの内容をもとに、記述分析を行った。記述分析方法は、3. 3. 4で述べた KH Coder というフリーソフトウェアを用いた。具体的な分析方法は、3. 3. 4を参照してほしい。

記述分析を行うために必要となる記述分類コードは、上田中学校や附属中学校 A組・B組で実施したのと同じもの(表 7-13)である。

8. 3. 5 自由記述アンケート結果・考察

生徒が記述した内容と、それを分類コードにそれぞれ分けたものを表 8-8 に示す。

表 8-8 自由記述アンケート結果

記述内容	分類コード
C 組	
内容が自分にとっては難しかったので、あまり理解できなかつたんですけど図などが見やすくてよかったです。	16、8
日本の陸なしという、普段では考えられない条件で実験をしてみて、コンピューターの結果も面白くてとても勉強になりました。ありがとうございました。	3
今回の授業では、数値実験して台風のシミュレーションしてみて内容が難しくあまり理解できなかつたのですが、数値実験の重要性をよくわかることができました。	16、2
シミュレーションするのが楽しかった。またやりたい。	3、4
計算プリントでのプラスチックを切ってやったやつを使うとやりやすくてよかったです。	8
設定はしなかつたけど、わかりやすく、気象条件などによる変化がわかりました。	14、7
授業では数値実験をしてみて、コンピューターの必要性を感じられた。またなぜその結果が起こったのか考えるのが楽しかった。	6、3
台風は毎回夏にくるもので常識だと思っていたのでくわしく学び深く考えることができました。	7
数値実験によって様々な気象現象を予測することができて面白かった。	3
パソコンのシミュレーションがすごいと思いました。出された問題がとても難しかった。台風の中の様子が色分けしてあってすごいと思った。	2、16、8
気象で数値実験を通して積極的にその実験に取り組めたのでよかったです。	3
楽しく勉強することができました。ありがとうございました。	15
やっぱりコンピューターでの数値予報は忘れやすいので、もう少し実験して頭にはいついたらよかつたと思うが、台風についてくわしく知ることができた。	18、7
台風の勢力は、海の温度で変わると分かつた。	7

データだけ、計算だけでは予想できず、両方必要だと分かった。私たちは誰かのおかげで天気予報を知ることができていることがわかった。	1、2
台風で確認することを例を使って調べるといろいろなことがわかるんだと思った。	2
少し難しい内容でしたがわかりやすかったです。	14
気象は様々な要素が組み合わさってできていて、それを計算するには非常に難解な計算が必要だということがわかった。	1
台風について理解できたし、考えるのも楽しかった。わかりやすい授業でした。	7、3、14
正直後半の内容はほぼ理解できていません。あと電卓がなくても暗算でできたので、アンケートの9番は答えにくいです。	16
私の知識不足だと思うが、いまいち天気について？が多かった。	16
もともと天気（気象）のところがよくわかっていなかったのが、授業の考察もわかりませんでした。計算の式をみつけた人がすごいと思いました。これからはせっかくの天気予報なのでもっと興味をもちたいと思いました。	16、4
今まで授業をしっかり理解していないといけないと思った。普段あまり考えたことがない実験内容だったので、少し難しかったけど面白かった。	3
新しい発見がたくさんありました。ありがとうございます。ストームライダーみたいなことはできるんですか？	15
今まで海の温度を変えたり陸や山をなくすとどうなるんだろうということを考えたことがなかったので、楽しかったです。異常な事態まで想定できるコンピューターってすごい！と思いました。	3、6
条件を変えて台風を見ることは初めてだったのでおもしろいと思いました。計算で予報ができることを初めて知りました。	3、1
とてもわかりやすく授業を進めていたので、台風がよくわかりました。	7
台風について様々なシミュレーションをし、なぜそうなるのかを考えるのが難しかった。でも、1つ1つの知識を駆使することで、理由まで考えることができた。また、計算を実際にやってみて、コンピューターの必要性をすごく感じた。	5、7、6

台風は環境によって強さが変化すると分かった。数値実験というものは知らなかったのので、今回学習することができてよかったです。ありがとうございました	7、14
シミュレーションが面白かったです。	3
いろいろなパターンでシミュレーションをしてみて、条件が変わると降水量や気圧など変わることがたくさんあるとわかりました。今まで知らなかったことをたくさん知ることができました。	7、14
ありがとうございました。天気分野が好きになりました。	17
自分たちだけで計算するのはとても大変だったけど、コンピューターはすぐに解いてしまって、私たちの生活にコンピューターはとても大切なんだなと思いました。	13、6
実際にシミュレーションすることはなかなか機会がなかったので、とても楽しかったです。	3
楽しかったです！	15
数値実験の設定はしてみたかったのですが、陸なしなど珍しい状態を予測できて面白かったです。	3
今までコンピューターが様々な計算をしていることを知らなかったのので、このコンピューターはすごいと感じました。また、シミュレーションはわかりやすく書かれていることがわかりました。2回の授業ありがとうございました。	6、8
D組	
天気は方程式によって求めることができるということや、コンピューターを使うことで正確に速く計算できることがわかった。	1、2
台風について理解できました。すごいスピードで計算できるコンピューターはすごいと思いました。	7、6
個人的には、どうしてこうなるかという考察が楽しかったです。考えることは楽しい。	3、15
いろいろな場合での台風の変化を数値実験で実験してみて、台風の変化についてたくさんわかりました。	7
天気を求めることはたくさんの方の努力とコンピューターにより成り立っているとわかった。	2

人の手でやるととても時間がかかる計算を一瞬で終える PC は生活になくってはならないものだと感じました。日本の陸地の条件と気温を同時に変えたため対照実験ではなくなったので、わかりにくかったです。逆に、日本にエベレストなどがあつたらどうなったのかも実験してみたいです。	6、5、4
数値予報に対しての理解を深めることができた。	1
今の天気予報ではコンピューターを使い、正確に素早く出していることにとっても驚きました。もっと天気について知りたいです。	1、17
とてもわかりやすく、日常と台風は深くかかわっていることがわかった。	7
台風についてくわしく学べたのでよかった。今後に生かしたい。	7
数値実験で 10℃ 上げたときと下げたときの実験をして、それぞれの特徴がわかりました。	7
気象だけではなく、火山や地震についても調べてみたい。	4
電子黒板や図、プリントを使った丁寧な授業でわかりやすかったです。	8
台風の強さなどをいろんな日本のデータを使ってシミュレーションすることができました。	7
様々な結果から考察に導くことができよかったです。ありがとうございました。	7
数値実験をやってみて、人は 24 時間かけてもできないのをコンピューターはすぐにできてしまうので、コンピューターは大切だとわかりました。	6
数値実験はコンピューターを使うととてもはやく計算できるけれど、人の手でやると何時間もかかりとても手間がかかることがわかりました。コンピューターシミュレーションでとても詳しい結果が出せることも理解できました。	6 1
今まで台風に興味があつたけれど、今回の授業を通して台風のことについて深く考えることができました。PC を使ってこういう条件のときどうなるかを考えることができたのでよかったです。	7、14
方程式を解くときに使った枠のかいてあるプレートがとても使いやすかった。	8
現代人は、コンピューターというより自分たちより性能のいいものを	6

作り出し使用することで、自らの進歩を進めているのだと感じました。	
グループで協力しながら、方程式を使い、数値実験を行うことができた。コンピューターの必要性を感じた。	14、6
グループで協力して答えを導いたりできてよかった。	14
数値や図で、比較しやすく、10℃の違いや陸ありやなしで結構変わってくると知りました。	8、7
台風の仕組みについて、今までよくわからなかったけれど、数値予報の実験などから少しわかりました。天気は、今まで習ったことの積み重ねにより、ニュースなどで発表されていることがわかりました。	7、1
実験が楽しかった。また授業をしに来てほしいと思いました。	3
今まで身近だったけど知らなかった天気予報などを知ることができ、とても面白かったです。他のものも知りたいと思いました。	1、15、17
実際に自分たちで計算をしてみ、改めてコンピューターが必要だと感じました。もっと数値実験をしたいと思いました。	6、4
電子黒板を利用した説明がとてもわかりやすかったです。	9
今回の授業では特に台風の変化について考えることができました。飽和水蒸気量が多くなると台風の水蒸気量も多くなり、結果的に台風が発達することを知りました。	7、7
台風は計算などからも予測することができるということがわかりました。天気などの今起こっている現象には山があるかないか、低いか高いか（標高）や地形などからも結論づけることができるということがわかりました。コンピューターの必要性を感じました。	1、2、6
実際にパソコンを使ってシミュレーションをしてみ、楽しみながら授業を受けることができた。	3
今まで気象予報では、統計的確率のみを使用していると思っていましたが、コンピューターを用いて膨大な量を計算したり、自分たちが実際に観測したものをPCに入れたりして予報しているということがわかりました。	1
数値実験で用いられている計算をすることができた。また、コンピューターのありがたさがわかった。とてもわかりやすかった。	10、6、14
PCで自分たちだけの課題に取り組みことで気象予報士の気持ちが変わりました。また、残りの考察について授業をしていただきたいです。	1

様々な条件にあてはめて台風の変化などをみて、たくさんを知ることができました。また、気象予報を出す方程式があるということを知ったり、楽しく実験ができたのでよかったです。	7、1、3
実際に計算したり、日本の設定を変えたりすることで天気の前測ができるようになった。	1

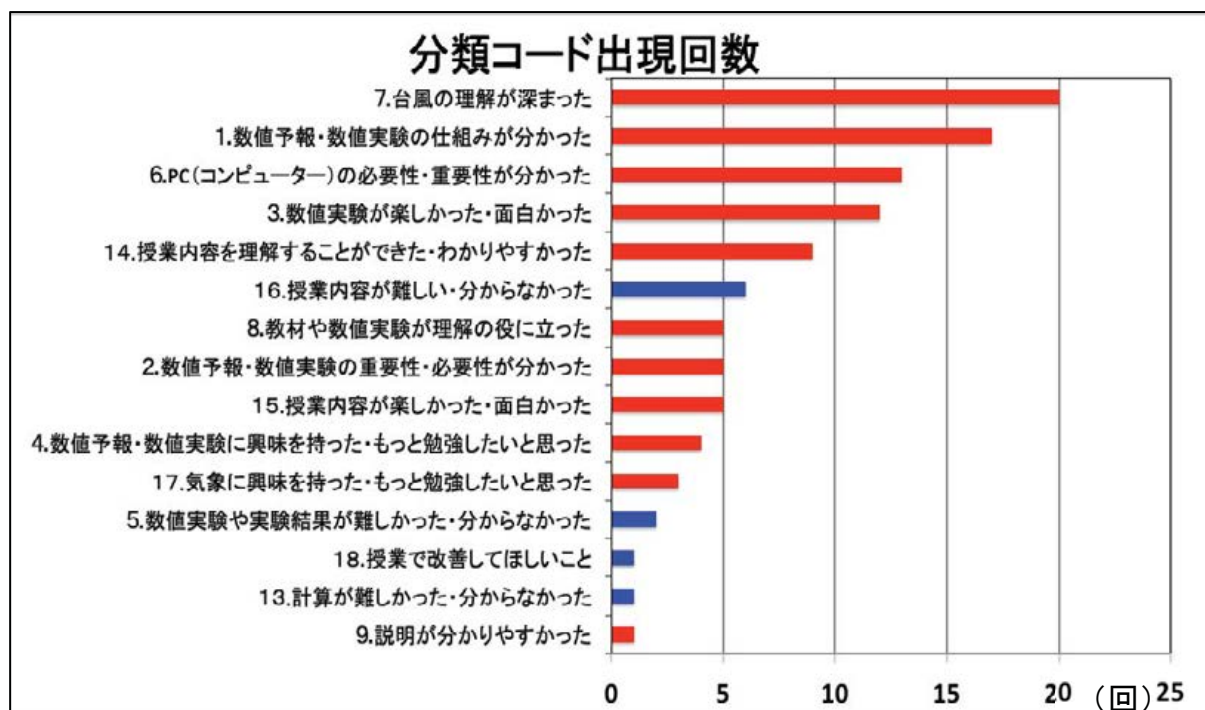


図 8-20 記述アンケート分類結果 (n=104)

生徒が記述した内容(表 8-8)を、分類コードにそれぞれ分けていった結果が図 8-20 である。分類コードが多く出現している順に並び替えている。赤い色で示しているのが肯定的な意見、青い色で示しているのが否定的な意見である。

この結果を見ると、「台風の理解が深まった」や「数値実験が楽しかった」という記述が多かったことから、数値実験をして様々な条件下の台風を見ることによって、生徒たちは楽しく台風について理解することができたのだと考える。

さらに、数値実験や気象に興味を持った、もっと勉強したい、と記述している生徒もいた。特に、「今まで気象分野にあまり興味がなかったけど、授業を通して興味がわいた」などという記述があり、数値実験がきっかけとなり、気象に興味を持ってもらえたことがわかった。

一方で、授業内容が難しいと感じる生徒も多く見受けられた。計算が難しいと感じた生徒も数人いたが、それよりも数値実験の結果から台風が変化する原因を考察するのがとても難しかったという記述の方が多かった。特に C 組は、数値実験した

結果と実際のシミュレーション結果の領域が異なっており、現象の原因を考察する以前に、実験結果と実際の現象との違いを見つけるのが大変だったため、難しかったと感じる生徒が多かったのだと考える。他にも多くの要因が考えられるが、まずは、生徒が数値実験した結果と実際の現象をシミュレーションした結果とを明確に見比べられるような環境を整え、生徒が自ら違いに気づくことができるように工夫することが必要であると考えます。

8. 4 結論

数値実験を用いて、仮想的な条件下における台風の変化について考察することで、生徒たちは台風が発達・衰退するメカニズムについて理解することができた。今回の実験内容は、生徒にとって少し難しかったかもしれないが、今まで学習したことを想起させ、生徒同士で話し合っただけで考察することによって、理解を深められるとわかった。

また、もともと理科や気象にあまり興味を持っていなかった生徒たちが、授業を通して気象に対する興味・関心を高めることができ、学習意欲も高めることができた。そして、バージョンアップ版の教材を用いることによって、CS 分析の「予報興味」の改善度が上田中学校や附属中学校の A 組・B 組よりも低くなったことから、数値実験に対する興味・関心も高めることができたのだと考える。

第9章 教材による理解度の検証

第7章の冒頭でも述べたが、当初の予定では、初期時刻を変更できる「Web-CReSS for Education」を用いて盛岡市立上田中学校と岩手大学教育学部附属中学校で授業を行おうとしていた。そして、公立中学校と国立大学附属中学校の両校で教育効果が得られるような教材であるのか、もし教育効果に差がある場合は、どのような違いがあるのかを検証しようと考えていた。

しかし、その教材の到着が遅れてしまったため、上田中学校と附属中学校のA組B組は、初期バージョン（初期時刻変更不可）、附属中学校のC組D組のみバージョンアップ版（初期時刻変更可）を用いて授業を行うことになった。

第7章・第8章の中で、それぞれのバージョンの「Web-CReSS for Education」を用いた授業を行うことによって、授業前後の理解度に有意な差が得られたことがわかっている。そこで、バージョンによって有意な差が得られるかどうかを検証することにした。

9.1 授業を行う前の理解度（学力）検証

授業を行う前に理解度（学力）に有意な差があるかどうかを検証する。検証方法は、授業を行う前の理解度（プレテストの結果）に差があるかどうかを危険率5%（信頼度95%）で、t検定を行う。

プレテストの結果は表9-1の通りである。

表9-1 上田中学校・附属中学校のプレテスト結果

上田中学校	点数（点）	附属中学校	点数（点）
1組（n=33）	10.5	A組（n=38）	10.4
2組（n=36）	9.7	B組（n=39）	10.6
3組（n=34）	10.3	C組（n=37）	10.7
4組（n=33）	10.3	D組（n=37）	11.0
全クラス（n=136）	10.2	全クラス（n=151）	10.7

平均点を見比べると上田中学校と附属中学校では、0.5点の差があることがわかる。この差が統計的に有意であるかを9.1.1で検証する。

9. 1. 1 上田中学校と附属中学校間の理解度検証

上田中学校と附属中学校の正答率で有意な差があるかどうかを検証する。すでに、上田中学校4クラスと附属中学校のA組・B組との検証を行っており、有意な差はないということがわかっている。そこで、上田中学校4クラスと附属中学校のC組・D組の検証と上田中学校4クラスと附属中学校4クラスの検証を行うことにした。

表9-2 上田中学校・附属中学校における授業前の理解度の検証

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値 (両側確率)
上田中学校 と C・D 組	あり	<u>-2.41</u>	1.97	0.0168
		$1.97 < 2.41 $		$0.0168 < 0.05$
上田中学校 附属中学校	あり	<u>-2.20</u>	1.97	0.0284
		$1.97 < 2.20 $		$0.0284 < 0.05$

上田中学校と C・D 組には、授業前に有意差があるということがわかった。また、上田中学校と附属中学校2クラス (A 組・B 組) とは有意な差がなかったが、附属中学校4クラスを対象にすると有意な差があるということが明らかとなった。

9. 1. 2 附属中学校クラス間の理解度検証

上田中学校のクラス間の検証は、すでに行われており (7. 2 参照)、授業前に4組のみが他のクラスより正答率が高いことが明らかになっている。しかし、附属中学校はA組とB組、C組とD組に有意な差がないことはわかっているが、それ以外の組み合わせで検証することができていない。そこで、附属中学校のクラス間の検証を行うことにした。また、使用したバージョン別の理解度の検証を行うため、A組・B組とC組・D組同士の検証も行う。

表9-3 附属中学校授業前の理解度の検証

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値 (両側確率)
A 組と C 組	なし	<u>-0.68</u>	1.99	0.499
		$ 0.68 < 1.99$		$0.05 < 0.499$
A 組と D 組	なし	<u>-1.26</u>	1.99	0.213
		$ 1.26 < 1.99$		$0.05 < 0.213$
B 組と C 組	なし	<u>-0.199</u>	1.99	0.843
		$ 0.199 < 1.99$		$0.05 < 0.843$
B 組と D 組	なし	<u>-0.740</u>	1.99	0.462
		$ 0.740 < 1.99$		$0.05 < 0.462$

A・B組	なし	<u>-1.14</u>	1.98	0.255
C・D組		$ 1.14 < 1.98$		$0.05 < 1.255$

以上の結果から、授業前はどのクラスにも有意な差がないということがわかった。

9. 1. 3 使用した教材別の理解度検証結果

学校間で区別せず、使用した教材別の理解度の検証を行う。初期バージョンを使用したのが上田中学校4クラスと附属中学校A組・B組で、バージョンアップ版を使用したのが附属中学校C組・D組である。

表9-4 使用した教材別授業前の理解度の検証

教材	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値 (両側確率)
初期 Ver.と Ver.アップ版	あり	<u>-2.10</u>	1.97	0.0365
		$1.97 < 2.10 $		$0.0365 < 0.05$

初期バージョンを使用したクラスより、バージョンアップ版を使用したクラスの方が授業前の理解度が高いということがわかった。

9. 2 教材による理解度の検証

教材による理解度の検証を行う。検証方法は、教材授業後の理解度（ポストテストの結果）に差があるかどうかを危険率5%（信頼度95%）で、t検定を行う。ポストテストの結果は表9-5の通りである。

表9-5 使用した教材別のポストテスト結果

初期バージョン	点数 (点)	バージョンアップ版	点数 (点)
1組 (n=33)	11.4	C組 (n=37)	12.6
2組 (n=36)	11.4	D組 (n=37)	12.4
3組 (n=34)	11.9	/	
4組 (n=33)	11.6		
A組 (n=38)	12.7		
B組 (n=39)	12.4		
平均点 (n=213)	11.9	平均点 (n=74)	12.5

平均点を見比べると教材間で、0.6点の差があることがわかる。この差が統計的に有意であるかを9. 2. 1で検証する。

9. 2. 1 使用した教材別の理解度検証結果

学校間で区別せず、使用した教材別の理解度の検証を行う。初期バージョンを使用したのが上田中学校4クラスと附属中学校A組・B組で、バージョンアップ版を使用したのが附属中学校C組・D組である。

表9-6 使用した教材別授業後の理解度の検証

教材	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値 (両側確率)
初期 Ver.と Ver.アップ版	あり	<u>-2.38</u>	1.97	0.0180
		1.97 < 2.38		0.0180 < 0.05

新バージョンを使用した方が、理解度が高いという結果となった。しかし、授業前から新バージョンを使用していたクラスの理解度が高かったため(表9-4)、新バージョンの教材が理解度を高めたのかどうか判断することができない。そこで、授業前に有意な差がなかった附属中学校A組・B組とC組・D組で教材間に有意な差があるかどうかを9. 2. 2で検証することにした。

9. 2. 2 附属中学校A組・B組とC組・D組の理解度の検証

授業前に有意な差がなかった、附属中学校A組・B組とC組・D組で、改めて教材間に理解度の差があるか検討することにした。

表9-7 使用した教材別授業後の理解度の検証 (附属中学校のみ)

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.975)	P 値 (両側確率)
A組・B組	なし	<u>0.243</u>	1.98	0.808
C組・D組		0.243 < 1.98		0.05 < 0.808

検定をした結果、教材間の理解度に有意差がないという結果となった。

9. 2. 3 教材による理解度の検証結果

以上までの結果より、旧バージョンと新バージョンをそれぞれ使用したことによる有意な差がないことがわかった。一方、どちらのバージョンを用いても全てのクラスの理解度が高くなり、表9-7の結果のように理解度に有意な差がなかったということは、今回C組・D組で実施した新バージョンの教材を用いた授業を、A組・B組に実施しても理解度を高めることができるのではないかと考えられる。つまり、教育用のインターフェースを新たに作成した「Web-CReSS for Education」は、気象現象の理解を深めることができる教材だと考える。

第 10 章 「Web-CReSS for Education」を教材として 利用した成果と課題

10. 1 授業全体の成果と課題

授業全体の成果は、移流方程式を手計算で解くときに使用する「計算補助シート」を作成することによって、計算方法を簡略化できたことである。そのため、計算するのに必要な時間を短縮することができ、温度分布のグラフを描く時間も確保することができた。そして、グラフを描くことによって、周りの温度に影響されて将来の温度が求められていく様子を生徒に実感させることができた。また、計算の方法は簡略化したものの、生徒が手計算の大変さを体験することによって、数値実験や PC の必要性を実感することにつながった。

授業全体の課題は、実験手順や操作方法の説明をさらに単純明快にすることである。C 組・D 組の授業では、実験の操作手順などの説明が長引いてしまい、予定していた内容全てを行うことができなかった。数値実験をするためには、多くの作業が必要となるが、授業時間は限られている。そのため、説明する内容を精選し、生徒に重要な部分を的確に伝えるとともに、場合によっては補助教材を用意するなどして、生徒が活動する時間を多く確保する必要がある。

また、プレテスト・ポストテストの結果から、気象の状態を求めるためには、1 つの方程式を解くことによって求められるという、誤概念を形成してしまったことが明らかとなった。移流方程式を解くことができたという印象が強く残ってしまい、最初に説明した様々な方程式の存在を忘れてしまったのだと考える。手計算で移流方程式を求めさせるなど、計算することによって数値実験の仕組みを教える際は、他にも様々な方程式が存在していることを強調して生徒に伝えていく必要があると考える。

10. 2 「Web-CReSS for Education」を教材として用いた成果と課題

成果は、インターフェースを簡略化したことにより、条件設定の操作が簡易になったことである。「NHM 統合環境」は設定する条件が多く、ミッションによって設定が異なるため、条件設定の操作の意味を説明する時間がなかったが、今回は計算と条件設定を関連づけながら説明することによって、機械的な操作ではなく条件設定の意味を理解しながら操作することができた。また、条件設定に始まり、実験結果の解析まで行うという、数値実験全ての工程を中学生自ら行うことで、数値実験

の仕組みについて理解でき、数値予報への興味・関心を高めることができた。特に、バージョンアップ版のソフトを用いて授業をした D 組では、他のクラスにおける CS 分析で改善度が高いとされていた「予報興味」や「実験必要」の項目の改善度が低いという結果となった。様々な数値実験結果から、台風が変化する原因について考えるのは、生徒たちは少し難しいと感じていたようだが、班のみんなやクラスのみんなで考察していくことによって、現象の理解を深めることができ、数値実験をもっとやってみたいという意欲がわいたのだと考える。

実験結果の確認の操作も簡易であり、その実験結果を平面図・断面図ともにカラーで見ることができるため、生徒たちは台風の特徴やメカニズムについて理解することができた。プレテスト・ポストテストの結果からも台風に関する項目の理解度に有意差があったことから、理解が深まったのは明らかである。

課題としては、実験結果の断面図を見るときに、任意の場所で断面図を指定できないため、生徒が見たいと思う場所（地点）の断面図を表示できないことである。また、風力は矢印の長さで表されているが、具体的にどのくらいの強さなのかを知ることができないことが挙げられる。授業中に生徒から、「台風の中心（目）の断面が見たい」「どのくらいの風力か知りたい」という意見が出されたため、生徒の要望をできる限り解決できるように改修していく必要がある。

以上のことから、「Web-CReSS for Education」を教材として用いた授業を行うことによって、授業の目的である「数値実験の仕組みの理解」と「台風の現象理解」を達成することができたと考える。しかし、授業内容（授業構成）や「Web-CReSS for Education」は、まだ改善すべき点が多々残っているため、今回の授業の反省を生かして改善を重ねることによって、生徒の理解をより深めることができる教材や授業を作っていくことができると考える。

終章

本研究では、「数値実験の仕組みを理解させること」「気象数値実験モデルを用いて数値実験を行うことで、気象現象の理解を深めること」を目的に授業を行い、統計分析などを用いて、中学生にどのような教育効果があったのかを検証してきた。

第Ⅰ部では、「NHM 統合環境」を用いた2時間連続の授業実践の概要について論述した。この授業では、地形を自由に編集することができるというソフトの特性を活かして、実際にはない地形を、生徒が自ら作ることにより、数値実験や気象への興味・関心を高めることができた。また、断面図で上空の風も見ることができるため、海陸風が循環していることを理解することができた。

一方、今までブラックボックスであるとされてきた、数値実験の仕組みを生徒に理解させるというチャレンジングな内容を初めて取り入れた。仕組みを理解させる方法として、数値実験が行っている計算の一部（移流方程式）を実際に中学生に手計算で求めさせた。計算が難しくて大変だと感じる生徒が多く、数値実験の仕組みを十分に理解させることはできなかったが、計算が大変だと感じた分、PCの有用性を実感することにつながった。

第Ⅱ部では、「Web-CReSS for Education」を用いた2時間構成の授業実践の概要について論述した。この授業においても、数値実験の仕組みを理解させるために移流方程式を手計算で求めさせた。偏微分方程式（移流方程式）を解くための補助シートを作成することによって、「NHM 統合環境」を用いた授業で課題となっていた計算方法が容易になり、将来の温度が求められる仕組みを生徒に実感させることができた。その結果、生徒の自由記述の感想で「数値実験や数値予報の仕組みがわかった」という記述が多くあげられた。

一方、数値実験の条件設定においては、インターフェースの簡略化（中学生がわかるような言葉の使用・条件設定する項目の精選など）をしたことによって、生徒が操作しやすくなっただけでなく、条件設定の意味を理解しやすくなった。また、実験結果で表示できる気象要素は、海面気圧・地表面降水量・断面図雲水量の3つのみであるため、実験結果から考察すべき視点を絞ることができた。そのため、新たに海水面温度や地形を変化させた実験結果から台風が発達・衰退する原因を突き止めることができ、最終的には台風の特徴やメカニズムについて理解することができたのだと考える。さらに、実験結果が全てカラーであるため、直感的に気象現象を理解することができたのだと考える。

以上までのように、「NHM 統合環境」や「Web-CReSS for Education」を用いて数値実験を行うことで、気象現象を生徒に理解させることができた。また、生徒の気象に対する興味・関心を高めることができ、気象現象の特徴やメカニズムに関する理解を深めることができたなど、さまざまな教育効果を得ることができた。そして、普通はスーパーコンピューターなどで行っている数値実験を、学校の教育現場で中学生に体験させることができ、その仕組みを第Ⅱ部の授業で理解させることができたことが、大きな成果であると感じている。

一方、授業では数値実験を行うこと以外に、授業の目的の1つである数値実験の仕組みを理解させるため、偏微分方程式（移流方程式）を手計算で実際に求めさせるという内容を取り入れた。しかし、手計算が難しいと感じ、その後の数値実験に対する意欲がわかなかった生徒もいると考えられる。今回は、手計算によって数値実験の仕組みを理解させようと考えたため、すべての授業において生徒に手計算させるという手法をとったが、計算が基になって行われている事実のみを生徒に教えてすぐに数値実験に取り組み、気象現象の理解を重点的に深める、といった授業構成なども考えられる。数値実験の仕組みと気象現象の仕組みを理解させるためには、どの方法が最も良いのかをこれからさらに検討していく必要があると考える。

2つの数値実験ソフトを利用した授業を実施してみて、授業内容によって両者を使い分けることで、より生徒の理解を深められる授業を行うことができると考える。

例えば、「NHM 統合環境」のように、様々な気象要素を生徒が自由に入れることができる数値実験も必要であるが、現象を理解するために必要となる視点を限定したい場合は、「Web-CReSS for Education」のようにあらかじめ気象要素を固定しておくことも必要であると考えられる。また、気象現象の立体的な構造をより詳しく知りたい場合は、任意な場所で断面図を表示できる「NHM 統合環境」を使用し、雲や雨など降水系に関する気象現象を扱うときは、雲解像度モデルを用いている

「Web-CReSS for Education」を使用すると、気象現象を明確に捉えられるのではないかと考える。つまり、数値実験ソフトそれぞれのメリット・デメリットを考慮した上で、授業で利用することが必要である。

しかし、気象庁から研究目的として貸与されている「NHM 統合環境」は、岩手大学内の使用許可をもらっているために、岩手大学教育学部附属中学校以外の中学校で利用することができない。より多くの中学生に、数値実験を利用して楽しく気象現象について理解を深めてもらうためには、「NHM 統合環境」を開放していただ

くことが必至である。未来を担う子どもたちのために、「NHM 統合環境」を開放していただけることを強く願っている。

「Web-CReSS for Education」は、地形編集のオプションや初期時刻を追加するだけでも全く違った実験をすることができる。また、断面図の表示の仕方などを変更することができれば、さらに生徒の理解を深められる教材になっていくと考える。今後、実践の反省を踏まえて改良を重ねることで、生徒の理解を深められる素晴らしい教材となっていくと確信している。この「Web-CReSS for Education」がさらに教育的に意義のある教材となり、教育現場に普及されていくことを心から願い、本論を終える。

引用・参考文献一覧

- 石野昌太郎・松本謙一（2013）：観察・実験とシミュレーションの一元化を目指す
6年理科「月と太陽」，富山大学人間発達科学研究実践総合センター紀要 教育実
践研究，No.7、pp.57-70
- 井面仁志・白木渡・長谷川修一・野々村敦子・難波大祐・山本明寛（2010）：集中
豪雨浸水シミュレーションを用いた防災教育教材の開発，安全問題研究論文集，
vol.5，<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00913/2010/05-0011.pdf>（2016/01/05
アクセス）
- 上野幹雄・川畑拓矢・酒井亮太・白川栄一・石田純一・斎藤和雄（2000）：NHM
統合環境の紹介ーパソコン版気象研究所非静力学モデル（NHM）ー，「天気」情
報の広場，47号，pp.57-62
- エヌエス環境株式会社（2007）：平成 18 年度揮発性有機化合物（VOC）の浮遊粒
子物質および光化学オキシダント生成にかかる調査報告書，pp.31
- 大阪管区気象台技術部予報課開発班（2001）：パソコン版多画面平面図 Ver 2.5 操
作マニュアル
- 株式会社中電シーティーアイ（2015）：「Web-CReSS for Education」取扱説明書
- 菅民郎（2007）：Excel で学ぶ多変量解析入門，オーム社
- 気象庁（2015）：気象庁ガイドブック 2015，pp.4-56
- 気象庁ホームページ：<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>（2016/01/20 アクセ
ス）
- 斎藤和雄（2000）：全球非静力学モデルの開発：数値予報課統一非静力学モデルの
球面直交曲線座標系バージョン，大会講演予稿集，78号，pp.124
- 佐野浩・永岡利彦（2002）：北上川流域で起こる「朝曇り」-NHM 統合環境の利用
例-，「天気」，49 巻，5号，pp.21-29
- 白川栄一・上野幹雄・川畑拓矢・酒井亮太・石田純一（1999）：気象研究所非静力
学メソスケールモデルのパソコン版統合環境ソフト，日本気象学会 1999 年度版
秋季大会予稿集，pp.346
- 関向正俊（2001）：理科におけるマルチメディアとネットワークを活用した教材の
開発に関する研究，岩手県総合教育センター教育研究，第 157 号，No.13_08_3
（http://www1.iwate-ed.jp/kankou/kkenkyu/158cd/13_08_3.pdf）
- 関向正俊：コンピュータを活用した「地震のゆれ」についての理解を深める教材の
開発-地震シミュレーション教材-「東北地震 Sim」と簡易振動センサーと振動分
析ソフトを用いた地震モデル実験教材-，岩手県立総合教育センター地学・地球

領域の教材紹介

〈http://www1.iwate-ed.jp/tantou/kagaku/kyouzai/4_tigaku/jishinkyouzai.pdf#jjsinsim〉 (2016/01/05 アクセス)

坪木和久・榊原篤志 (2001) : CReSS ユーザーズガイド 第2版

名越利幸・木村龍治 (1994) : 気象の教室 6 気象の教え方・学び方, 東京大学出版会, pp.217,

名越利幸・山本桃子 (2013) : 気象庁 DVD-NHM を用いた中学校理科での数値予報の試み, 日本気象学会春季大会講演予稿集, pp.64

西山絢美 (2015) : 奥羽山脈越え山岳波の数値的研究, 岩手大学教育学部卒業論文, pp.71

樋口耕一 : KH Coder 〈<http://khc.sourceforge.net>〉 (2016/01/15 アクセス)

藤原優・名越利幸 (2014) : 中学校理科気象領域において数値実験ソフトを教材化する試み, 日本理科教育学会第53回東北支部大会論文集, pp.37

藤原優・名越利幸 (2014) : 気象庁「NHM 統合環境」による数値実験の試み, 日本科学教育学会北海道東北支部第4回大会論文集, pp.83-86

藤原優・名越利幸 (2015) : 中学生による「NHM 統合環境」を用いた気象数値実験の教育効果, 日本気象学会春季大会講演予稿集, pp.442

藤原優・名越利幸 (2015) : 中学生による「Web-CReSS for Education」を用いた気象数値実験の試み, 日本理科教育学会第65回全国大会論文集, pp.447

藤原優・名越利幸 (2015) : 中学生による「Web-CReSS for Education」を用いた気象数値実験の試み, 日本理科教育学会第54回東北支部大会論文集, pp.36

三重県総合教育センター課題研究講座メンバー (2003~2008) : 地学分野映像教材集

〈<http://manabi.mpec.jp/kishou/>〉 (2016/01/05 アクセス)

柳井久江 (2012) : 4 Steps エクセル統計【第3版】

山本桃子 (2013) : 気象庁 DVD-NHM を用いた数値シミュレーションの教材開発, 岩手大学教育学部卒業論文, pp.60

謝辞

本研究は、多くの方々の多大なご協力とご支援をいただき、支えられてきました。ここにお世話になった方の名前をあげさせていただき、お礼申し上げます。

まず、本稿を執筆するにあたり、指導教官である名越利幸教授には、研究の手法や論文の書き方などを懇切丁寧に指導して頂きました。修士課程になってから名越研究室に配属となりましたが、学部時代では培うことのできなかつた科学的なスキルをご教示くださいました。また、日本気象学会や日本理科教育学会全国大会といった、全国学会で発表するという貴重な経験をさせていただきました。さらに、優秀女性大学院生学長表彰努力賞や東北理科院生賞を受賞できたのも、名越先生の指導の賜物であると思っています。

岩手大学教育学部理科教育科の武井隆明教授、菊地洋一教授には、本論文の執筆にあたり、丁寧に適切なご助言及びご指導をいただきました。自分の文章に欠けていた、読む人にとって理解しやすい文章の書き方・表現の仕方などを細やかに指導して下さったことで、本論文を仕上げることができました。

気象庁気象研究所予報研究部部長の斎藤和雄様には、気象庁との兼ね合いもある中、教育のためにと、快く「NHM 統合環境」を提供していただきました。この「NHM 統合環境」の貸与がなければ、授業実践を行うことはもちろん、私の研究をここまで進めることはできませんでした。

仙台航空測候所所長の白川栄一様には、「NHM 統合環境」の使い方や海陸風の基本的なパターンなどをご教示いただきました。お忙しい中、些細な質問に対しても、丁寧に応えていただきました。

名古屋大学地球水循環研究センター気象学研究室の加藤雅也様には、数値積分の基本概念を生徒に教えるための基礎となる資料を提供していただきました。また、伊勢湾台風の3Dシミュレーション映像も提供していただきました。これらの資料により、生徒の気象に対する興味関心を高めることができました。

名古屋大学地球水循環研究センター気象学研究室坪木和久様には、「Web-CReSS for Education」の開発において多大なお力添えをいただきました。そして、株式会社中電シーティーアイ IT ソリューション事業部解析エンジニアリング部解析技術グループの榊原篤志様、物江大輔様には、「Web-CReSS for Education」の開発を担当していただきました。教育用のインターフェースや実験の条件設定など、様々な要望を出したにも関わらず、多くの要望に応じていただきました。その結果、中学生の気象に関する理解を深めることができる素晴らしい教材となりました。

元・岩手大学教育学部附属中学校、現・大船渡市立大船渡第一中学校の佐々木俊

先生、岩手大学教育学部附属中学校の伊藤貴洋先生、盛岡市立上田中学校の千葉哲朗先生には、授業実践の機会をいただきました。貴重な授業時間を第2学年の4クラスそれぞれ2時間ずつ確保していただき、授業に関する助言を適宜していただきました。また、生徒の皆さんも積極的に授業に参加してくれて、とても充実した授業実践を行うことができました。

共同研究者である、村上源太郎さん、舘脇壮さん、西山絢美さん、黒坂優さん、菅原一貴さん、菅原大樹さん、石森明洋さん、太田風乃さんには、授業実践に向けた準備の際に様々なアイデアを出していただきました。中でも、西山絢美さんには、「NHM 統合環境」の整合性を検討する際に、自分の研究があるにも関わらず、快く実験結果を提供していただきました。舘脇壮さん、菅原一貴さん、菅原大樹さんには、授業実践で使用する実験道具の運搬やTTをしていただき、本当に助かりました。また、黒坂優さん、石森明洋さん、太田風乃さんには、授業中のTTのみならず、次回の実践に向けた助言をしていただき、教材の作成にも協力していただきました。皆さんのおかげで、長期にわたる授業実践も乗り切ることができました。

同じ理科教育コースの佐々木惇さん、千葉亘さんには、研究に行き詰まって悩んでいる時に、親身になって相談に乗ってくれました。精神的な支えがあったからこそ2年間研究を進めることができたと感じています。

併せて、皆さまにこの場を借りて、心より感謝申し上げます。

最後に私事ではありますが、大学院への進学を許していただき、今まで学生生活を支えてくださった両親に深く感謝致します。

平成 28 年 1 月 25 日

藤原 優