

修 士 論 文

中学校理科における「気象数値実験モデル」 を用いた教材に関する実践的研究

岩手大学大学院 教育学研究科 教科教育専攻
理科教育コース 理科教育学研究室

藤原 優

2016年 3月

目次

序章	- 1 -
第 I 部 「NHM 統合環境」を用いた実践的研究	
第 1 章 「NHM 統合環境」の概要	- 3 -
1 節 特徴	- 3 -
2 節 使用方法・実験方法	- 4 -
3 節 利用条件	-19-
第 2 章 理科教材として利用するための検証	-20-
1 節 計算所要時間の比較	-20-
2 節 整合性の検証	-21-
3 節 教材として用いる利点	-27-
第 3 章 授業実践-中学生対象-	-28-
1 節 授業の概要	-28-
2 節 プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察	-63-
3 節 授業後アンケート統計分析結果・考察	-71-
4 節 結論	-88-
第 4 章 授業実践-大学生対象-	-89-
1 節 授業の概要	-89-
2 節 プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察	-111-
3 節 授業後アンケート統計分析結果・考察	-114-
4 節 結論	-122-
第 5 章 「NHM 統合環境」を教材として利用した授業の成果と課題	-123-
1 節 授業全体の成果と課題	-123-
2 節 「NHM 統合環境」を教材として用いた成果と課題	-123-

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	-125-
1節	開発の経緯	-125-
2節	特徴とソフトウェアの構成	-128-
3節	使用方法・実験方法	-131-
第7章	授業実践Ⅰ	-141-
1節	授業の概要	-141-
2節	プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察	-176-
3節	授業後アンケート統計分析結果・考察	-186-
4節	結論	-212-
第8章	授業実践Ⅱ	-213-
1節	授業の概要	-213-
2節	プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察	-239-
3節	授業後アンケート統計分析結果・考察	-243-
4節	結論	-253-
第9章	教材による理解度の検証	-254-
1節	授業を行う前の理解度の検証	-254-
2節	教材による理解度の検証	-256-
第10章	「Web-CReSS for Education」を教材として利用した	
	授業の成果と課題	-258-
1節	授業全体の成果と課題	-258-
2節	「Web-CReSS for Education」を教材として用いた成果と課題	-258-
終章		-260-
引用・参考文献		-263-
謝辞		-265-

序章

中学校理科の学習内容の中でも、気象領域は目に見えない大気を扱っており、さらに気象は時々刻々と変化し再現性がないため、中学生にとって理解しにくい領域の一つである（名越・木村，1994）。現在の教育現場では、中学生の実感を伴った理解を図るために、見えない気象現象を可視化しようと様々な流体実験やモデル実験が開発され、授業で行われている（名越・木村，1994、三重県総合教育センター課題研究講座メンバー，2003-2008）。

一方、気象学の研究手法の1つである数値実験は、シミュレーションによって気象現象を可視化できる。その教材の有無、理科の地学領域での先行研究を調査した。その結果、天体や地震などといった定常の現象を対象とした数値実験（石野・松本，2013、井面・白木 他，2010、関向，2001）は行われているものの、非定常である気象の数値実験を教材として利用している例は、本研究室の例（山本，2013）を除きなかった。

山本（2013）は、DVD-NHM を用いて、数値予報を教材化する授業実践を行っている。DVD-NHM とは、2007 年度の JICA の集団研修向けに気象庁の現業で使用される「気象庁数値予報モデル」を用いて作成されたソフトである。「LINUX」の1つである「KNOPPIX」上に収録されて1枚の DVD となっているため、DVD-NHM という。このソフトを用いた実践から、中学生が2時間連続の授業で数値予報の結果を出し、そこから予報値について議論できるということがわかった。しかし、DVD-NHM の計算システムがブラックボックスであるため、数値シミュレーションに対する理解が深まらず、意欲が高まらなかったことも明らかとなった。また、インターフェースの操作は、教育利用を考えて作成されていないため、操作の物理的な意味づけが薄れてしまっていることも課題としてあげられていた。その改善策として、『過去の気象現象を再現したり、地形データを書き換えて現実にはない地形を作成したりするような数値実験をすることで、生徒の意欲を高めることができるのではないか』と考察している。

そこで本研究では、将来の大気の状態を予測する「数値予報」ではなく、大気に関して様々な現実的または架空的な条件を与えて、大気を支配する力学的方程式の数値解を求める「数値実験」を授業で利用することにした。この数値実験を行うことによって、生徒は既知の知識を基に思考実験をすることができるため、気象現象の理解を深めることができると期待できる。また、この数値実験がどのような仕組みで行われているのかを学習する時間も取り入れることによって、数値実験に対する意欲を高め、授業内容の理解を促すことができると考える。さらに、教育版のイ

ンターフェースを作成することにより、実験操作の物理的な意味づけを理解することができる」と期待できる。

よって、本研究の目的を、①ブラックボックスとなっていた数値実験（シミュレーション）の仕組みを理解させること、②中学生自身が数値実験を行うことができるように、「気象数値実験モデル」を教材化し、その教材を用いた数値実験を行うことで、気象現象を理解させること、の2つとした。

今回、教育効果を検証するために授業で利用した気象数値実験モデルは、気象庁気象研究所で開発された「NHM」と名古屋大学地球水循環研究センターで開発された「CReSS」の2つである。

第I部では、NHMをWindowsのPC上で動かすことのできる気象数値実験ソフト、「NHM統合環境」を用いた授業実践について述べる。「NHM統合環境」は、大阪管区気象台技術部予報課開発班が、気象現象の立体構造を明らかにするなどといった研究目的で作成したものである。この既存のソフトを授業で利用できるように、実験環境を整えたPCやソフトの使い方を示した補助教材などを用意し、これらを活用した授業を、岩手大学教育学部附属中学校の2年生と岩手大学教育学部の理科コース2年生の学生を対象に実践した。その授業実践の概要と成果について、統計分析結果を交えて論述する。

第I部で用いた「NHM統合環境」は、岩手大学内での使用許可を得ているために岩手大学附属中学校以外の中学生を対象に授業を行うことができない。そこで、他の公立学校などで数値実験を行うために、ソースを開放している「CReSS」を用いて新しい気象数値実験ソフトを作成することにした。

第II部では、CReSSを数値実験モデルとして用いた新しい気象数値実験ソフト、「Web-CReSS for Education」を用いた授業実践について述べる。「Web-CReSS for Education」は、数値実験で最も重要となる条件設定の項目を必要最低限にするなど、教育現場で利用できるように自ら教育版のインターフェースを考案した。その案を基に、企業（株式会社中電シーティーアイ）にソフトを開発してもらった。中学生が操作しやすいように、実験操作のほとんどはクリック操作のみとなっている。また、フリーソフトであるCReSSを用いたことにより、附属中学校以外の中学校で授業を行うことが可能となった。そこで、この教材を活用した授業を岩手大学教育学部附属中学校2年生と盛岡市立上田中学校の2年生を対象に実践した。その授業実践の概要と成果について、統計分析結果を交えて論述する。

第 I 部 「NHM 統合環境」を用いた実践的研究

第 1 章 「NHM 統合環境」の概要

山本（2013）が授業で用いた DVD-NHM は、予報向けのプログラムであるため数値予報をすることはできるが、地形を取ったり海を陸にしたりするなどといった地形編集に対応していないため、数値実験を行うことは難しい。そこで、操作するインターフェースが簡略化されており、地形を編集したりすることができる数値実験プログラムがないか調査した。調査していたところ、気象庁気象研究所予報研究部部長の斎藤和雄氏から「NHM 統合環境」という数値実験ソフトを貸与していただくことになった。この数値実験ソフトの特徴や、ソフトを教材として用いるために検討したことを以下に記す。

1. 1 特徴

1. 1. 1 「NHM 統合環境」とは

そもそも NHM とは、Non-Hydrostatic approximation Model（非静力学近似モデル）の略で、気象研究所で開発された非静力学モデルのことである。鉛直加速度を無視する静力学近似ではなく、積雲対流などをより良く表現できるように工夫されたメソスケール現象向きの数値モデルである。

「NHM 統合環境」とは、Windows を OS に用いる PC 上で NHM を動かすことができるソフトである。このソフトは、複数の初期条件から計算し、どの要素が目的の現象を引き起こしているのか確かめること、目的の現象の立体構造を明らかにすることの 2 点を目的に作成された。計算の実行はもちろん、計算結果の解析や管理などを行う周辺ツールを全て統合しているという特徴がある。

「NHM 統合環境」が製作されたのは、今から約 15 年前であり、当時の文献のみでは不明な点が多かったため、「NHM 統合環境」の製作に携わった、現在、仙台航空測候所所長の白川栄一氏にソフトの特徴などを伺った。開発された当初は、降水系を無視した Dry モデルであったが、地方气象台に「NHM 統合環境」を配布したところ、降水系も考慮してほしいという全国の現場から要望があり、Wet モデルにバージョンアップしたそうである。また、2000 年から約 5 年間、気象庁や気象研究所の方々が、気象の力学的構造などを研究するためにこのソフトを使用していたということも明らかになった。

1. 1. 2 特性

「NHM 統合環境」の特性は、大きく分けて以下の4つに分類できる（大阪管区気象台技術部予報課開発班，2001）。

①このソフトで明らかにしようとしている現象は、地形によって影響される風である。

目的としている現象は、どの要素が引き起こしているのかを確かめるために、風向や風力など様々な初期条件を流体力学の方程式を基にして計算する。初期値は、当時の大阪における大気のプロファイルがすでに与えられているため、新たに気象観測データを取得したり、保存したりしているわけではない。つまり、鉛直プロファイル（初期条件）は、目的に合わせて変更する必要がある。

②「NHM 統合環境」における数値実験は、数値予報ではない。

今回の数値実験で与えられる初期値は、数値予報に必要な「バランスされた」「現実に近い」場を表現できない。与えることのできる初期場は、「水平方向に一様な」「鉛直方向に変化を持った」場である。すなわち、多数の事例に共通する特徴を単純化して初期場として用いるか、これまでの知見から判明している理想的な鉛直プロファイルを初期値として用いる方がよい。数値実験は繰り返し行えるので、最初の初期場を若干変化させた実験を多数行うことによって、何が重要な要素なのか突き止めることができる。

③観測では得難い、現象の立体構造を得ることが可能である。

うまく目的の現象を再現できたのなら、その成因について立体的に考察することは可能である。ただし、現実にはありえない初期場から出発した計算であることを念頭に置いておく必要がある。

④地形を編集することができる。

地形によって影響された風を研究する目的で作成されたものであるから、地形を変化させたことによる影響を調べることができる。編集では、山を高くする・低くする、谷を埋める・作る、海を埋める・作るなどが考えられる。

1. 2 使用方法・実験方法

1. 1で述べたような特徴のある「NHM 統合環境」の実験方法のおおまかな流れ（①～④）を以下に示す。

【「NHM 統合環境」の数値実験の流れ】

① 「NHM 統合環境」を開く。



《条件設定》

・計算設定

- ② 計算する時間や計算時間間隔を設定する。
- ③ 計算結果を出力したい間隔を設定する。



・オプション設定

- ④ 陸面温位（陸面の温度）の日変化させる方法を選択する。
- ⑤ コリオリ力を考慮するかしないかを選択する。
- ⑥ 領域の一番外側の一格子の値を決める方法を選択する。
- ⑦ 雨の種類（氷粒子が関係している雨かしていない雨か）を選択する。



・領域設定

- ⑧ 計算する領域の格子数を選択する。
- ⑨ 計算する領域の中心緯度経度や格子間隔を設定する。



- ⑩ 風向や温度、湿度などといった気象要素の初期値（高層データ）を設定する。
※実際の観測データを用いて計算するわけではない。

↓（地形編集なしの場合）

↓（地形編集する場合）

- ⑪ 計算をスタートさせる。



- ⑫ 地形を編集する場合は、計算を実行する前に図 1-3 の「地形データを編集する」にチェックを入れる。
- ⑬ あらかじめ初期値として入っている地形データ（高度や海陸分布など）が Excel で表示される。そのデータを手入力に変更し、地形を編集する。
- ⑭ 地形編集を終了させると、自動的に計算がスタートする。



《結果解析》

- ⑮ 計算結果を平面図や断面図で見る。

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。また、教育利用する（授業で用いる）際に推奨する設定や実験手順（①～⑭）を下線部で示す。なお、上で示した数値実験の流れの番号と、これから示す実験手順の番号は対応している。

1. 2. 1 ホーム画面

「NHM 統合環境」を起動させると、ホーム画面が現れる（図 1-1）。ホーム画面に示されている項目で行うことができる内容を、以下に簡潔に示す。

・ NHM : NHM 実行に必要な環境設定を行い、NHM を実行する。

①数値実験を行うためには、まず「NHM」を開く。

・ 地形編集 : 実験で使用する地形データを編集する。

・ GMFV : 多画面平面図（描画ツール）で NHM の計算結果を閲覧する。

・ 実行履歴 : これまで実行した数値実験の設定内容を確認することができる。

・ Exit : 「NHM 統合環境」を終了する。

※地形編集や GMFV、実行履歴を変更する場合は、設定変更のチェックボックスにチェックを入れる。



図 1-1 ホーム画面

1. 2. 2 NHM

NHM では、数値実験の条件設定を行う（図 1-2）。条件設定を行うことができる項目は、大きく分けて【計算時間】【予報オプション】【計算領域】【鉛直設定】【地形編集】の 5 つである。

【計算時間】

- ・ 開始時間：計算を開始するステップ
- ・ 計算時間：計算する総ステップ
- ・ 計算時間間隔：1ステップの時間間隔

②計算したい時間に合わせて、計算時間間隔と計算時間を入力する。

(例：24時間分を計算したい場合は、計算時間間隔を10秒、計算時間を8640ステップで入力すると、1440分後=24時間に設定することができる。)

※「計算時間」と「計算時間間隔」の値を入力すると、「〇分後まで計算します」が自動的に変わり、計算実行時間をすぐに算出することができる。

※計算可能範囲は、最大約90時間である。

- ・ GPV出力時間間隔：計算結果を出力する時間間隔
- ・ 分単位：チェックを入れると、計算結果を表示するときに分単位で表示できる。

③GPV出力時間間隔で、計算結果を出力したい間隔を入力する。

(例：1時間ごとに計算結果を出力するためには、②で設定したステップ数÷24時間で、入力する値を決める。②の例であれば、8640ステップ÷24時間=360ステップを入力すると、1時間ごとに結果が出力される。)

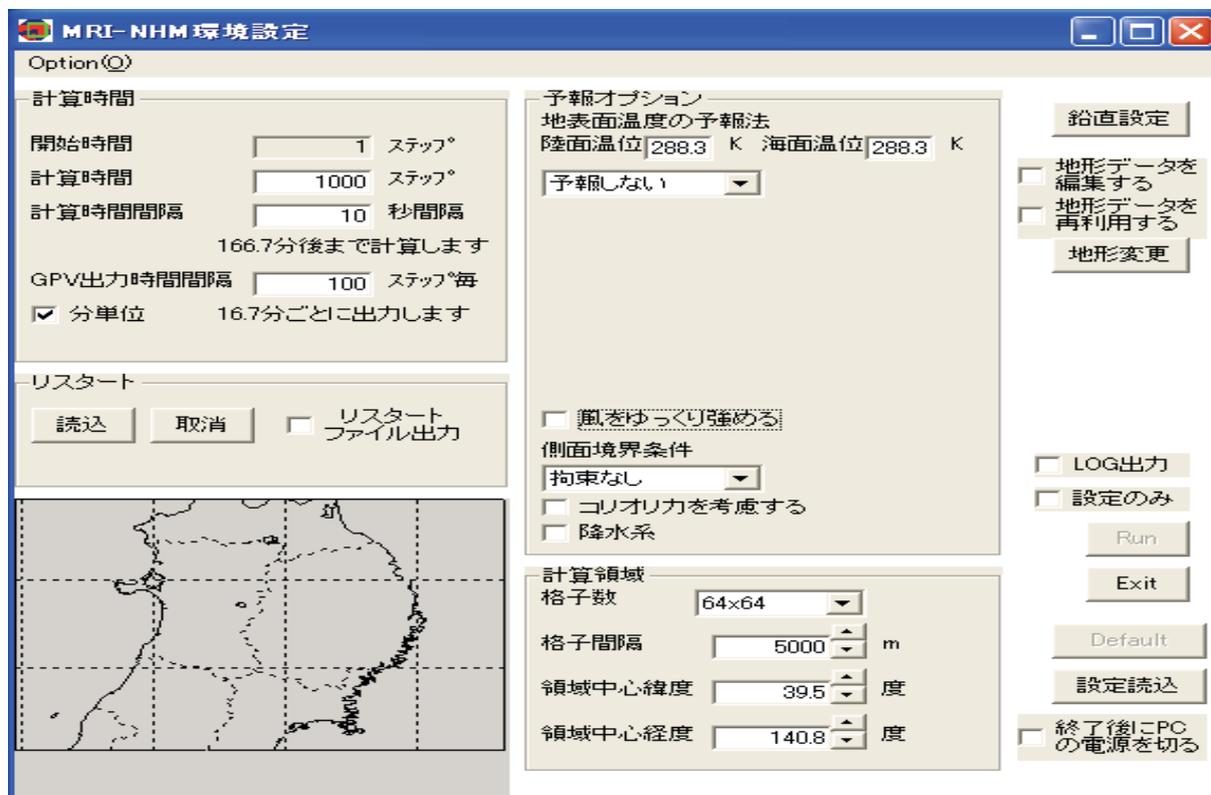


図 1-3 NHM 条件設定画面

【予報オプション】

- ・ 陸面温位：標高 0 m における値を設定する。陸面温位と大気最下層（20 m）の温位差は、一定と仮定して設定される。つまり、0 m～20 m の温位は同じ値で設定される。

※設定できる温位は、200 K～400 K である。

- ・ 海面温位：設定した値から変化しない。つまり、時間変化によって海面温位が変わることがない。

※海水面温度を変更して数値実験を行いたい場合は、陸面温位の値を直接入力することで変更できる。

・ 陸面温位の予報法

陸面温位の予報法には、以下の3つがあり、その中から数値実験の用途に合わせて予報法を選択する。

「予報しない」：放射の計算を行わず、陸面・海面温位は無視される。

※地形の力学的な影響のみを調べることができる。

「三角関数」：陸面温位の変化を SIN 関数で近似する。振幅（日較差の 1/2）を設定する。

「JSM 準拠」：相対湿度から雲量を算出し、これを放射の計算に用いる（図 2-2）。計算日時を設定する。

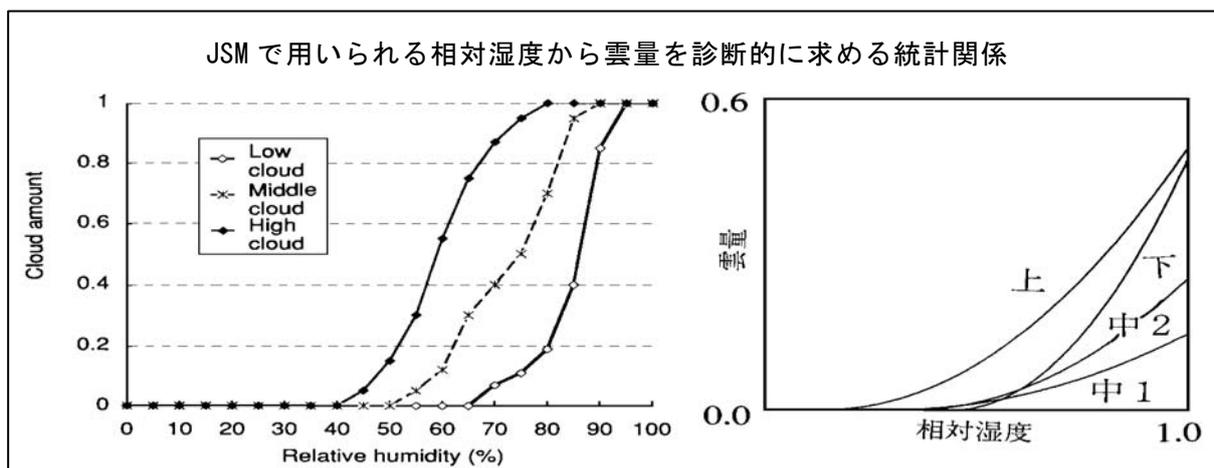


図 2-2 雲量を診断的に求める統計関係グラフ

※NHM 統合環境では、大気鉛直プロファイルを与えるため、これから時間変化した相対湿度を用いて雲量を求める。

※JSM とは、日本域モデルの略称で、当時の気象庁の現業で使用されていた領域モデルである。水平分解能は 40 km、鉛直層数は 40 である。（気象庁，2015）

④陸面温位の予報法を1つ選択する。

(例：海陸風を表現したいときは、昼間と夜間で温度差がしやすい夏場の陸面温位で実験するとうまく表現できるため、「JSM 準拠」を選択し、計算日時を7月や8月にするとよい。)

- ・風をゆっくり強める：指定したステップ数まで風をゆっくり強める。このオプションを選択した場合、コリオリ力は考慮されない。
- ・コリオリ力を考慮する：風の水平成分の計算にコリオリ力を考慮する。

⑤授業で扱うような気象現象は、すべてコリオリの力が働いているため、「コリオリ力を考慮する」にチェックを入れる。

- ・側面境界条件：領域の一番外側の一格子の値をどうやって決定するのかを選択する。

「拘束なし」：計算が進むにつれ、変化していく領域内の場をそのまま反映する。

「標準」：領域に流入してくる格子では、領域内の場と初期値の値を案分して決定し、領域から流出する格子では領域内の場から決定する。

「標準1」：領域に流入してくる格子では初期値の値に固定し、領域から流出する格子では領域内の場と初期値の値を案分して決定する。

「初期値固定」：一番外側の一格子の値を初期設定した値に固定する。

⑥側面境界条件は、特殊な数値実験を行わない限り、「拘束なし」を選択する。

- ・降水系：鉛直設定において湿度設定が追加され、降水系を考慮する。

「Warm Rain」：氷粒子が関係しない雨で計算する。

「Cold Rain」：氷粒子が関係する雨で計算する。

⑦日本で降る雨のほとんどは、氷粒子が関係する雨であるため、「cold rain」を選択する。

【計算領域】

- ・格子数：32×32、64×64、96×96、128×128、192×192、256×256 の6種類の格子が選択可能。

⑧32×32を選択する。32×32を選択しないと、設定画面で表示されるサイズと結果で表示されるサイズが変わってしまうため、32×32を選択することを推奨する。

- ・ 格子間隔：格子の大きさを設定する。
 ※元の地図データが 1000 m メッシュであるため、1000 m 以上に設定する。
- ・ 領域中心緯度・経度：領域の中心を設定する。

⑨領域の中心緯度と経度を決めて、計算したい領域の範囲を格子間隔で調整する。
 (格子数は、32×32 と決まっているため、計算したい領域は格子間隔で調整しなければならない。)

【鉛直設定】

- ・ 鉛直設定：鉛直プロファイルを設定する。

「鉛直設定」ボタンを押すと、図 1-4 のような画面が表示される。1. 1. 2 でも述べたように、当時の大阪における大気の大気鉛直プロファイル（初期値）がすでに与えられている。この値を用いて数値実験をすることも可能であるが、観測データなどを初期値として与えることができる。

新たに鉛直プロファイルを設定する場合は、各セルの高度・風向・風速・U成分・V成分、気温、温位、湿数、湿度を直接入力して変更することができる。

追加の各セルにそれぞれの気象要素を入力し、「追加」ボタンを押すと、新たに層を追加することができる。一方、左端の「第〇層」セルをクリックすると行が選択され、「削除」ボタンが現れる。「削除」ボタンを押すとその層全体を削除できる。

ここで設定した鉛直プロファイルが全領域に適用され、水平一様な場が作成される。

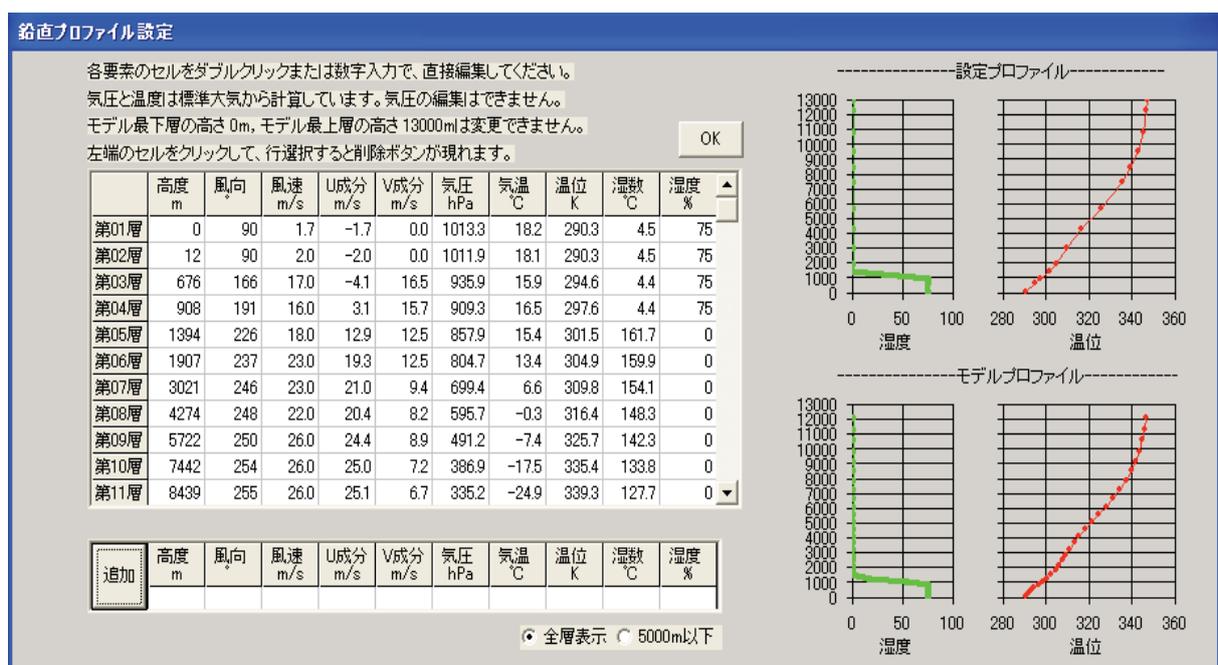


図 1-4 鉛直設定画面

※それぞれの要素で設定できる範囲は、以下の通りである。

- ・ 高度：0 m ～ 13000 m
- ・ 風向：0 ° ～ 360 °
- ・ 風速：0 m/s ～ 100 m/s
- ・ U成分・V成分：風速と風向を設定すると自動的に値が設定される。
- ・ 気圧：標準大気に基づいてすでに設定されているため、変更できない。
- ・ 気温：-273 °C ～ 900 °C
- ・ 温位：0.2 K ～ 600 K
- ・ 湿数：湿度と温度（温位）を設定すると自動的に値が設定される。
- ・ 湿度：0 °C ～ 100°C

⑩実際の気象現象を再現したい場合は、観測データを鉛直プロファイルに入力する。
（全層の風速を0 m/sに設定しても、気圧傾度力などによって風が吹くようになる。）

⑪鉛直プロファイルの設定が終わったら、「OK」ボタンを押す。その後、「RUN」
ボタンを押すと、計算が始まる。※地形編集をする場合は、⑫へ。

【地形編集】

- ・ 地形変更：地形データを再利用する場合にチェックを入れる。
 - ・ 地形データを編集する：地形を編集する。詳細は、1. 2. 3に記す。
 - ・ 地形データを再利用する：以前実行した領域と同じ領域で計算する場合、以前作成した地形データを再利用する。

⑫地形を編集して数値実験を行う場合は、「地形データを編集する」にチェックを
入れる。その後、「RUN」ボタンを押すと、地形編集画面（図1-5）が表示される。

1. 2. 3 地形編集

NHM 環境設定時に「地形データを編集する」にチェックをしておくと、計算に使用する地形を編集して、数値実験することができる。

地形編集を行うためには、Microsoft Excel が必要である。Microsoft Excel 上で「高度」「海陸分布」「緯度・経度」「格子点」「コリオリ」「緯度」「経度」「その他」のデータをそれぞれ編集することで、新たな地形を作成できる（図1-5）。

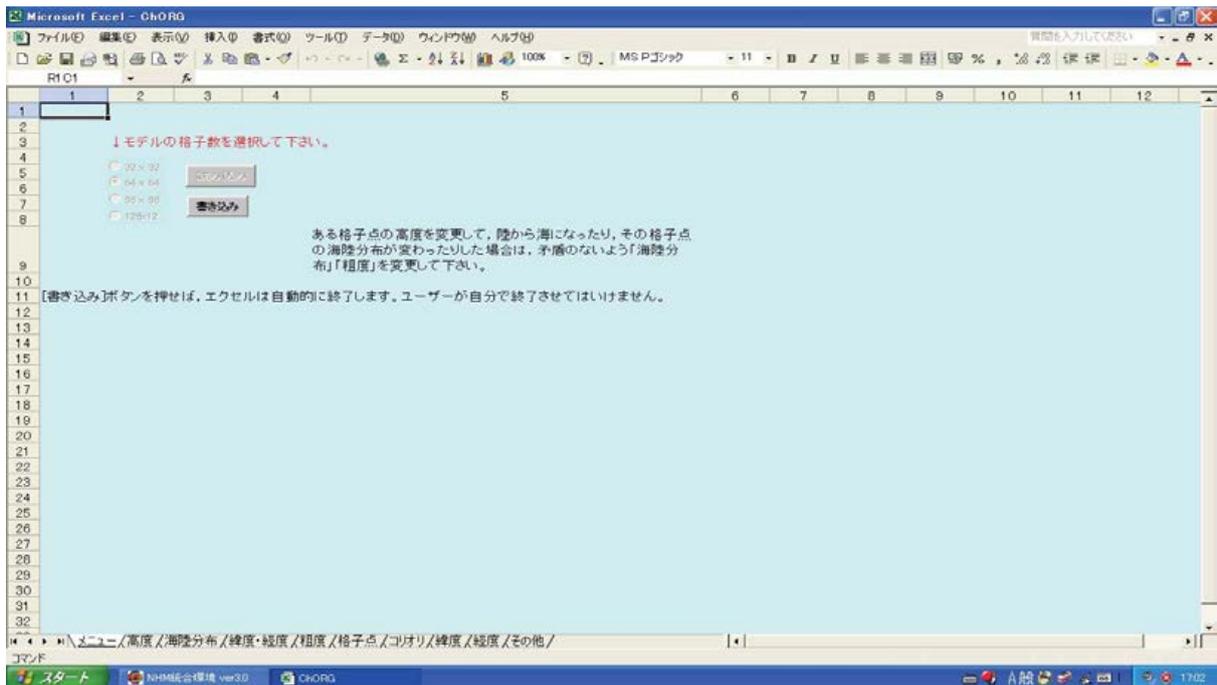


図 1-5 地形編集メニュー画面

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	677.1379	686.92	684.8148	496.75	433.0826	323.6111	528.2698	756.4035	494.6774	556.0476	695.2321	363.8413	239.5893	178.0159	121.4464	87.38085	158.5238
2	419.9596	397.1709	316.2699	353.0893	285.7143	393.4074	336.5185	485.037	499.3542	505	567.375	318.9704	224.0625	120.9259	171.4167	191.3333	219.1667
3	193.4839	195.9167	190.5	165.82	122.8269	304.0175	246.4464	308.2857	401.4643	540.7819	530.9821	301.127	169.5536	175.381	155.1607	248.6825	214.9524
4	123.1321	97.06557	61.32758	64.82538	106.0357	277.3065	227.2292	160.3704	398	573.4915	427	318.3148	312.375	240.6481	189.6042	432.0185	313.1286
5	94.48214	42.85455	157.5225	137.7593	93.60416	168	166.975	167.746	530.3393	629.287	665.0893	504.381	293.6964	257.127	236.2857	437.1597	317.9048
6	74.86666	70.59677	119.8393	214.6032	252.3393	317.9048	365.1837	283.8333	679.7083	464.1852	585.2063	465.1667	309.3333	376.7778	292	471.5741	449.7592
7	91.62712	117.9231	170.22	305.8654	601.86	427.3462	459.386	363.7377	478.3103	497.0656	454.3103	396.1803	625.3104	504.7869	404.5088	495.5161	507.4069
8	119.7778	174.5	235.0652	393.5357	514.1111	498.1429	667.3273	508.4593	616.6111	693.6042	511.1492	558.7917	601.7037	453.9542	499.8149	674.3542	650.8792
9	225.1111	280.9583	349.6482	772.8333	761.6296	624.8333	916.1129	830.1786	911.3174	799.5	536.4445	429.9464	372.5873	354.3929	555.0317	667.9288	626.6786
10	354.4423	384.3393	349.254	632.8393	783.0852	805.25	800.6667	1009.979	1371.241	996.5625	415.2592	279.3125	283.5926	322.2917	520.2407	649.0417	778.3542
11	378.4182	526.6111	349.0625	504.92	640.3846	645.6667	698.3016	999.1796	1220.635	904.7143	574.0317	323.4464	243.4127	347.5179	527.6349	697.5714	951.0357
12	685.1429	699.4286	578.3214	625.0159	437.8214	513.0526	746.9804	936.6875	992.8889	1095.188	1068.815	378.6667	227.0926	526.5	719.1111	718.4375	728.1667
13	540.9815	433.6296	619.5625	577.2963	368.6458	441.7544	721.1786	993.9138	1065.377	508.2857	438.9524	319.5179	215.8254	439.1607	726.2381	829.25	937.7321
14	128.6607	305.1754	495.9821	606.9524	273	281.5088	401.6042	908.7037	556.7292	300.8125	269.1667	189.0625	176.5556	351.2292	545.5926	847.375	974.3542
15	101.5614	211.2708	389.7037	326.5833	188.7917	321.5	334.0179	637.9841	396.7679	239.8793	247.9672	207.9643	152.5556	294.9107	517.4445	829.5893	966.9821
16	91.01724	139.0893	212.4603	136.8929	91.86207	262.2353	538.8958	826.6481	423.3333	297.963	397.3542	350.3542	128.6852	271.3125	525.3519	817.5625	777.7708
17	66.125	96.91666	109.6481	93.02084	99.16071	539.1964	879.9821	743.0159	475.3036	489.4445	492.9286	307.0357	117.9889	205.5962	546.2778	691.7292	1067.167
18	72.73214	52.93651	61.98214	50.69643	72.92857	349.9167	671	474.5882	641.5	517.3519	478.5417	302.6458	109.9259	197.5192	415.8889	483.8393	689.625
19	97.64584	103.8481	65.5	42.76	104.6102	509.375	548.8095	424.9643	638.5179	559.7302	336.3829	203.8077	95.90566	205.5625	279.5185	520.2917	773.3125
20	142.9136	127.5333	44.10714	43	191	572.875	362.6111	504.9593	590.6667	493.5195	234.8125	114.5	95.28571	177.3571	359.4762	446.0057	717.3393
21	223.7963	108.7292	45.33333	49.9661	285.5893	431.5	343.5079	434.8393	555.5065	387.9298	144.1875	91.5	122.1458	176.4167	248.8704	303.9167	579.1042
22	238.6885	96.83929	48.98182	66.36538	179.1875	312.3773	340.5918	345.7083	408.5555	224.5686	105.3929	79.22222	126.2679	221.9643	285.5714	340.3214	382.8036
23	292.4792	99.27094	64.05173	96.07143	253.6071	291.0317	479.9464	611.1429	659.6364	410.2917	166.2292	99.81481	117.0693	130.1975	245.463	494.9375	523.4375
24	289.8393	122.2727	81.5	130.3858	240.6625	365.7592	597.9792	998.25	997.2903	524.8214	197.9107	87.93651	69.66071	97.91071	235.2222	529.375	614.0714
25	320.1875	311.2364	158.2281	238.0357	314.05	434.4407	599.0755	961.6875	676.0555	362.0417	176.4167	89.74074	54.6875	128	364.593	549.6458	541.2282
26	466.0064	399.6296	226.0893	356.1875	304.2222	549.7917	672.451	721.8571	463.9429	339.0893	178.7679	101.3492	50.60714	218.9107	412.9693	312.9821	489.7143
27	562.5455	395.1754	314.2679	567.1429	441.6984	516.46	687.2292	742.5185	556.1875	489.375	184.0189	78.44898	143.2083	200.4792	185.9815	195.9167	344.2292
28	333.7963	484.2917	498.4375	554.0926	932.8125	648.9259	935.3036	940.3016	448.4464	253.0179	167.5079	88.46429	128.1964	169.4286	162.7258	181.5625	420.0833
29	258.6964	443.6025	801.2679	732.8397	841.4375	696.5	763.451	693.2157	413	300.7083	146.5556	83.85416	79.72916	103.25	165.6	152.9286	291.875
30	178.6042	375.6875	853.0755	752	753.8036	614.4821	502.3966	466.5893	246.375	159	126.1429	104.9167	93.97916	93.85416	109.1852	178.8333	350.5417
31	183.625	566.0179	541.6271	487.8333	663.5208	477.5	526.2778	283.1458	213.9792	92.20834	67.7377	71.44643	75.92857	78.17857	141.4127	216.75	235.3393
32	173.1667	416.6415	277.5472	290.6429	517.3929	502.2131	399.9829	230.8889	119.3958	83.09434	51	37.95893	34.95893	56.29846	106.14	133.2083	193.4792
33																	
34																	

図 1-6 高度編集ページ

⑬地形編集を行うために、「高度」と「海陸分布」の値を変更する。どのような地形を作成するとしても、この2つの項目のみで十分である。

(例えば、高度を編集する場合は、図 1-6 のように、元の地形の高度がすでに表示されているため、編集したい領域の高度を入力する。)

④全ての編集が終わった後に、地形編集メニュー画面の「書き込み」ボタンを選択すると、自動的に Excel が終了し (図 1-5)、計算が始まる。

※強制的に終了しようと Excel の終了ボタンを押してしまうと、NHM を通常の操作で終了することができなくなるため、必ず「書き込み」ボタンを押す。

以上までに説明していない、図 1-3 の条件項目に関しては、以下に簡潔に示す。

- ・読込：リスタートファイルを出力しておいた CASE を選んで、引き続き計算する。
 - ・取消：リスタートをやめる。
 - ・リスタートファイル出力：最終ステップをリスタートファイルに出力する。
 - ・LOG 出力：NHM の計算ログをファイルへ出力する。計算異常が起きた時に使用。
 - ・設定のみ：後から計算実行するときに使用。
 - ・RUN：NHM を計算実行する。設定が全て終了した後に選択する。
 - ・EXIT：設定画面を終了する。
 - ・Default：次回起動したときに、現在設定した内容を表示する。
 - ・設定読込：以前実行した設定を読み込む。以前実行した「case」フォルダを開いてさらに「開く」を押すと読み込む。
- ※「RUN」「Default」ボタンは、鉛直設定を行わないと有効にならない。
- ・終了後に PC の電源を切る：計算終了後に PC の電源を切る。

1. 2. 4 描画ツール「多画面平面図」

NHM を実行した結果は、多画面平面図という描画ツールで見ることができる。多画面平面図とは、気象庁の現業用数値予報結果表示ソフトの Windows 版である。名前が示す通り、データを多面的に表示することができる。

多画面平面図のメニューには、図 1-7 の上部にあるように、7つの項目がある。主に使用する「ファイル (F)」「並び (N)」「レイアウト (L)」「段数 (D)」「時刻 (T)」の使用方法を交えながら、結果の表示の仕方や見方について詳述していく。

レイアウト設定は、メニューバーの「レイアウト (L)」で、「横長用」「縦長用」「平面図のみ」「横長+時系列」「縦長+時系列」から選択することができる。図 1-7 は、「横長用」を選択したもので、図 1-8 は「横長+時系列」を選択したものである。

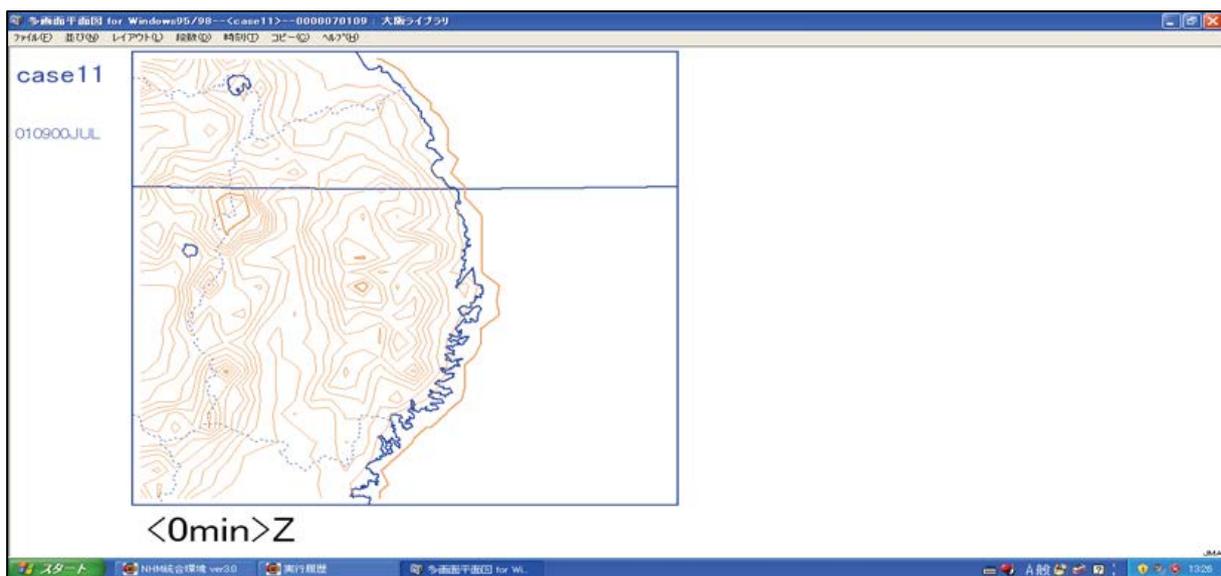


図 1-7 表示画面例（「横長用」を選択した例）

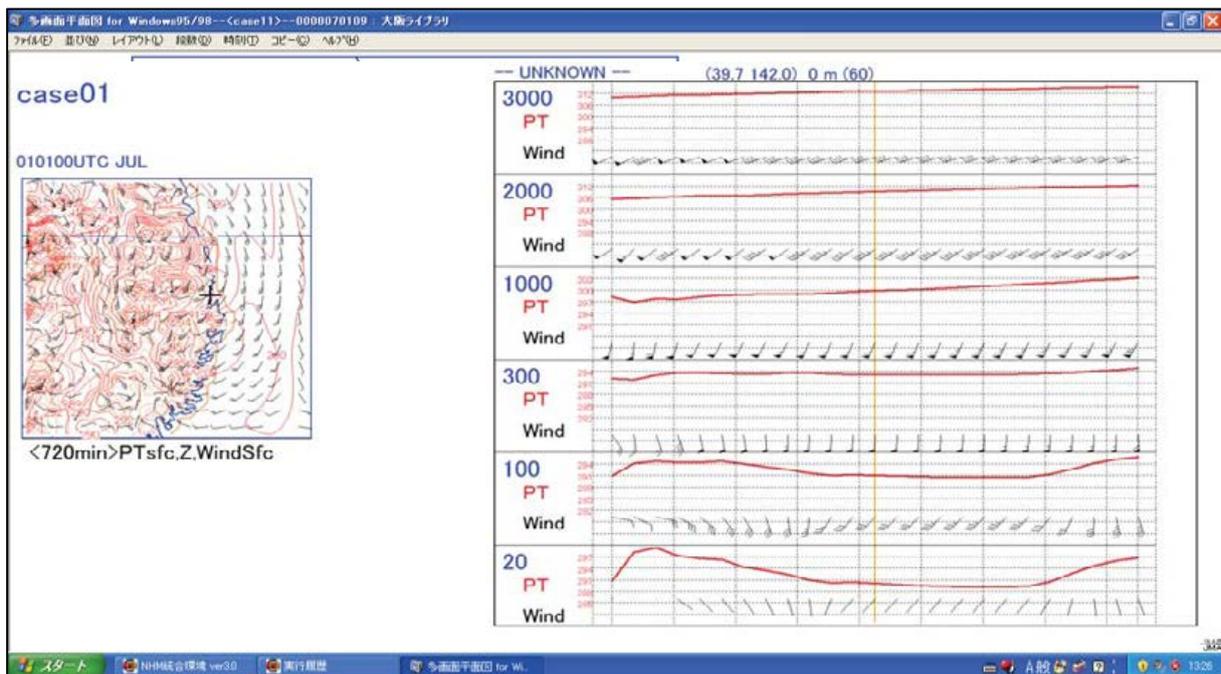


図 1-8 表示画面例（「横長+時系列」を選択した例）

時系列表示にして、図 1-8 の左の地図上の地点を選択（クリック）すると、その地点における時系列の気象状況が右側のグラフに表示できる。左の地図上には、赤い線で温位を表示し、黒い矢羽根で風向・風力を示している。右のグラフでは、左の地図上で選択した地点（十字の印がついている地点）における、温位（PT）と風向・風速（Wind）を示している。図 1-8 のような時系列の結果を見ると、標高が高くなるほど、温位（温度）や風向に変化が見られないことや、地上の風向が日変化している様子を捉えることができる。

図 1-8 のように、左の地図や右のグラフに表示している気象要素は、メニューバーの「ファイル (F)」から「要素選択」を選択し、要素選択用のダイアログボックスから選択できる (図 1-9)。ダイアログボックスの右の欄で「要素」を選択し、真ん中の欄で「高度」を選択し、「◀」ボタンを押すと、左の欄の「表示要素リストボックス」に選択した項目が表示される。その後、「OK」ボタンを押すと、多画面平面図に選択した項目が反映される (図 1-9)。反対に、「表示要素リストボックス」から要素を取り除きたい場合は、「表示要素リストボックス」で取り除きたい要素を選択し、「▶」ボタンを押して「OK」ボタンを押すと、多画面平面図にその要素が表示されなくなる。

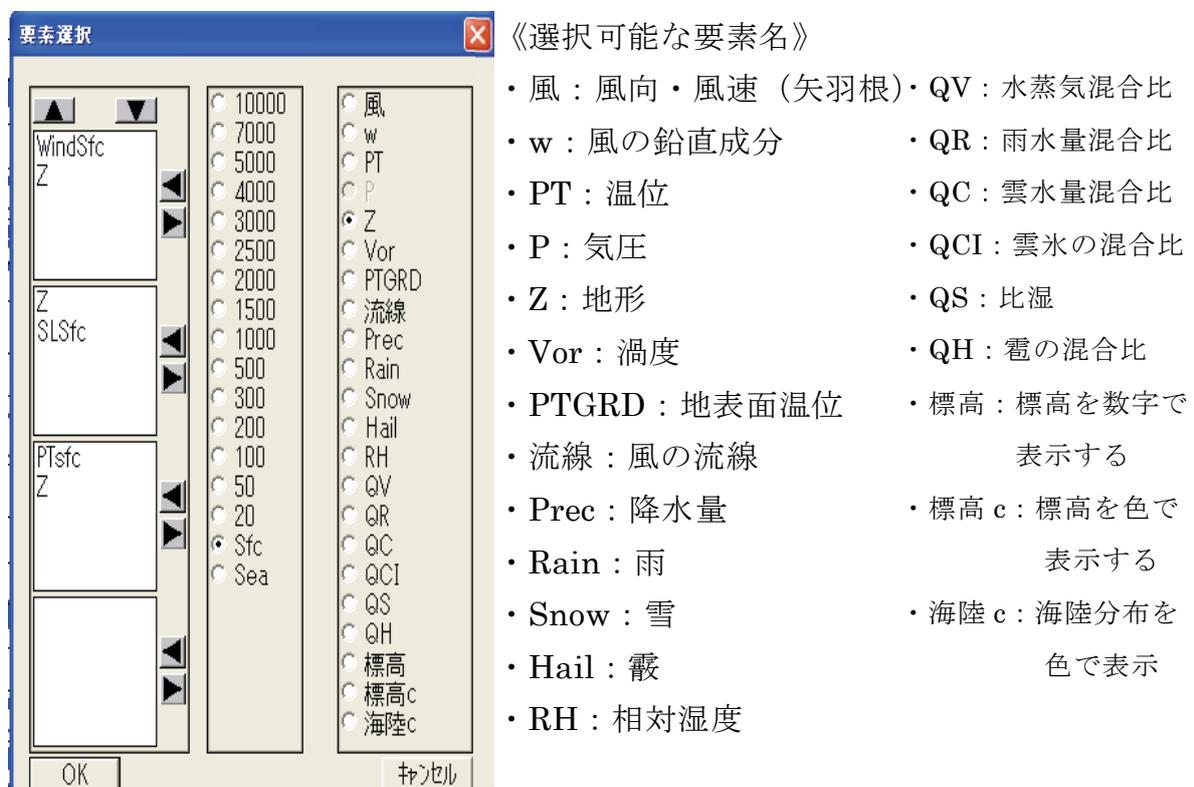


図 1-9 ダイアログボックス入力例

「レイアウト (L)」で「平面図のみ」を選択すると、表示できる平面図の段数を変更することができる。段数は、メニューバーの「段数 (D)」で設定でき、1 段～4 段まで表示することができる。また、「並び (N)」の中から「時系列 (S)」 「時／要素 (T)」 「同時刻 (D)」 を選択することによって、平面図の並び方を変えることができる。図 1-10 は、段数を 2 段にし、並び方を「時系列 (S)」にしたものである。時間とともに (60 分おきに)、矢羽根が変化していく様子を捉えることができる。

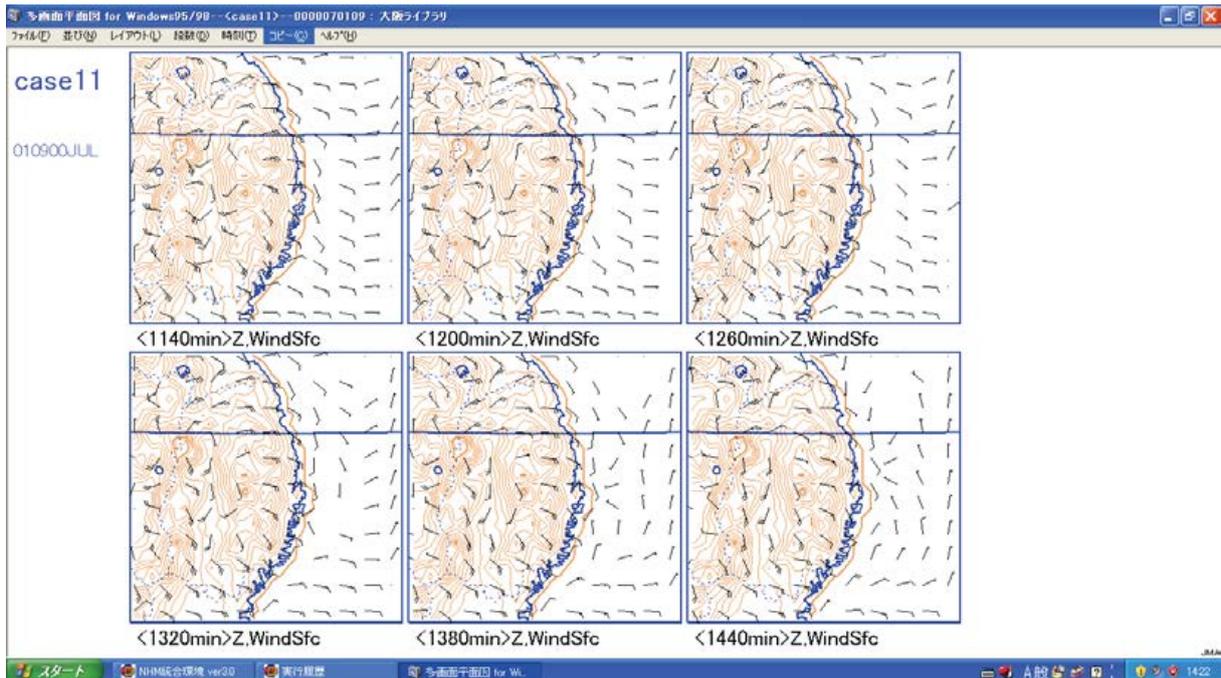


図 1-10 多画面平面図の表示画面例（段数：2段、並び：時系列）

図 1-11 は、段数を 3 段にし、並びで「時／要素 (T)」を選択したものである。図 1-9 のダイアログボックスにおける「表示要素リストボックス」の段と平面図表示段とが対応している。全ての段の実験結果は、左から右へ 60 分間隔で進んでいる。また、1 段目は地形と矢羽根を、2 段目は地形と流線を、3 段目は地形と温位をそれぞれ表示している。1 段目と 2 段目から日本列島に海風が入ってきているのがわかる。

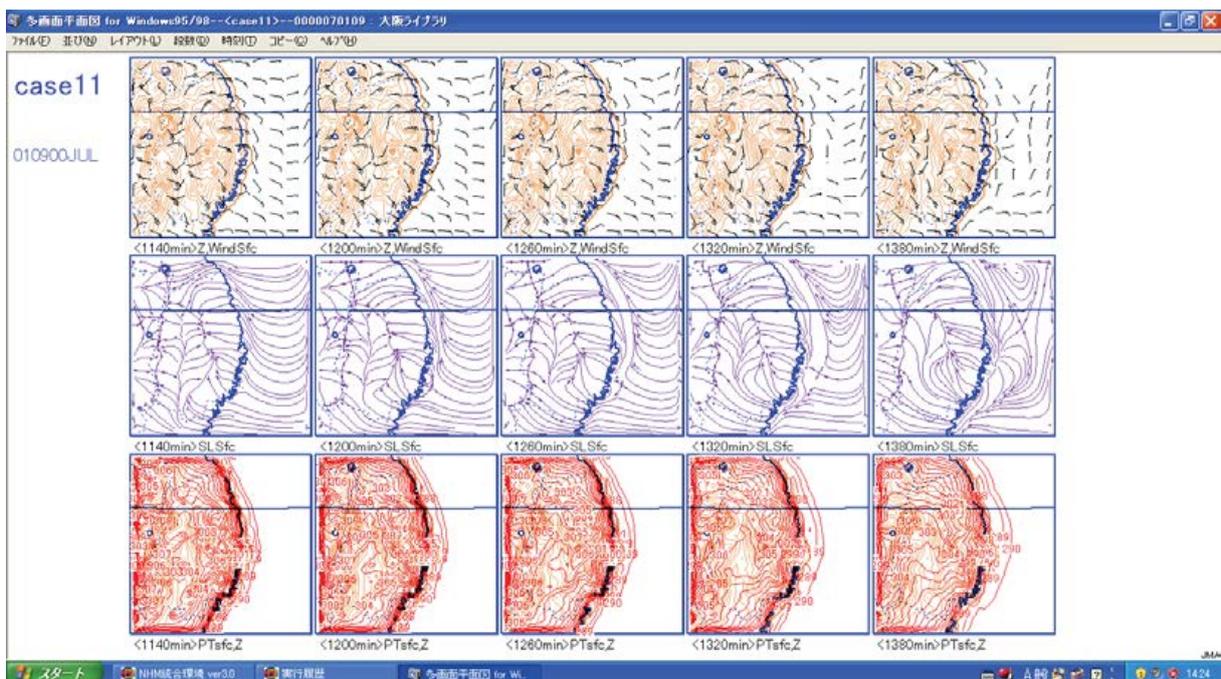


図 1-11 多画面平面図の表示画面例（段数：3段、並び：時／要素）

図 1-10 と図 1-11 では、60 分おきに表示していたが、のメニューバーの「時刻 (T)」を選択すると、表示する時間間隔を変更することができる。時間間隔は、「GPV 出力時間間隔」で設定した値が反映される。

メニューバーの「レイアウト」から「任意断面図」を選択すると、任意の区間の鉛直断面図を表示することができる。図 1-12 の左側の平面図から、断面図を表示したい区間を指定する。平面図上で、断面図を表示したい区間の開始地点にマウスの右ボタンを押したままにする。そのままマウスを、断面図を表示したい区間の終了地点まで動かし、右ボタンを離す。すると、平面図上に開始地点「A」と終了地点「B」が表示され、断面図区間が緑色の線で表示される。そして、図 1-12 の右側のように、指定した区間の鉛直断面図が表示される。

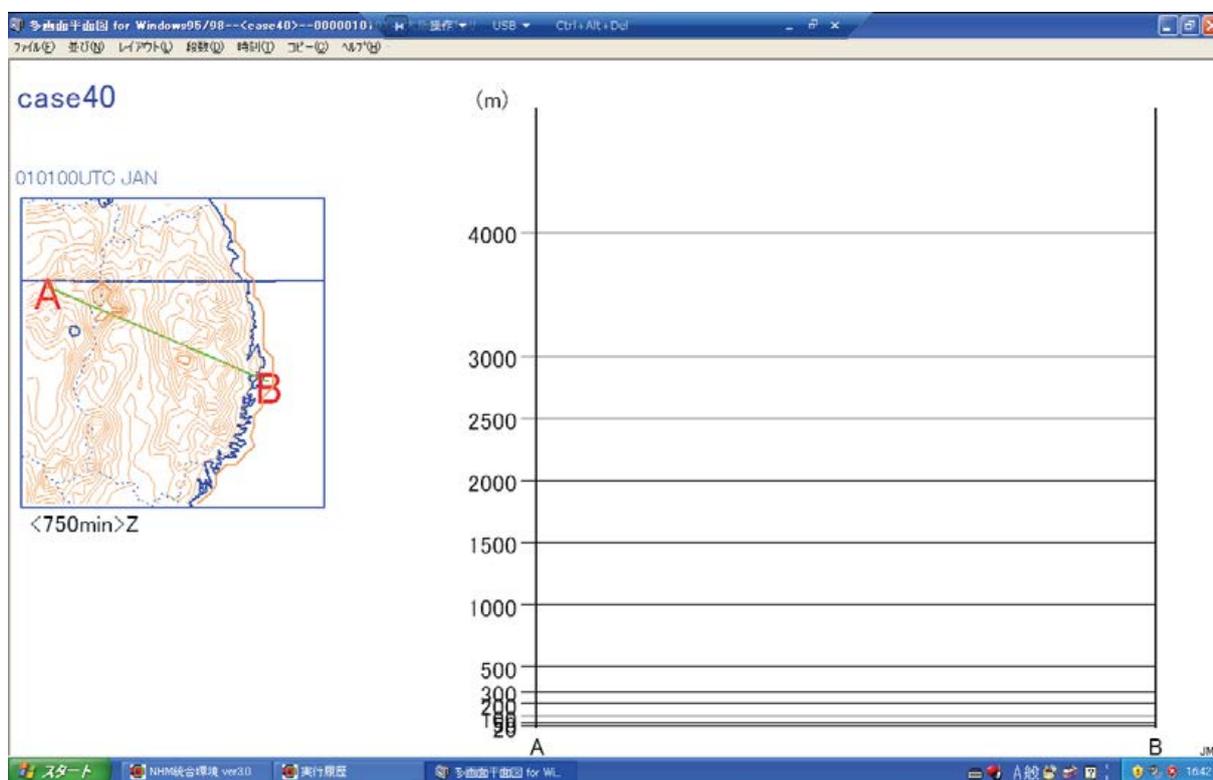
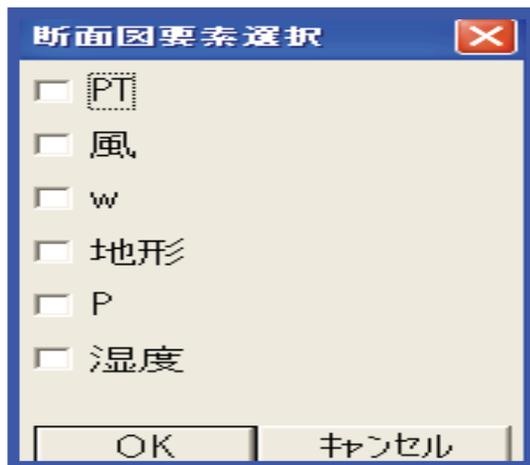


図 1-12 多画面平面図の鉛直断面図

鉛直断面図に表示したい要素は、メニューバーの「ファイル (F)」から「断面図要素選択」を選択し、鉛直断面図要素選択ボックスから要素を選択する (図 1-13)。表示したい要素にチェックを入れ、「OK」ボタンを押す。



《選択可能な要素名》

- ・ PT：温位
- ・ 風：風向・風速（矢羽根）
- ・ w：風の鉛直成分
- ・ 地形：地形を表示
- ・ P：気圧
- ・ 湿度：降水系を表示

図 1-13 鉛直断面図要素選択ボックス

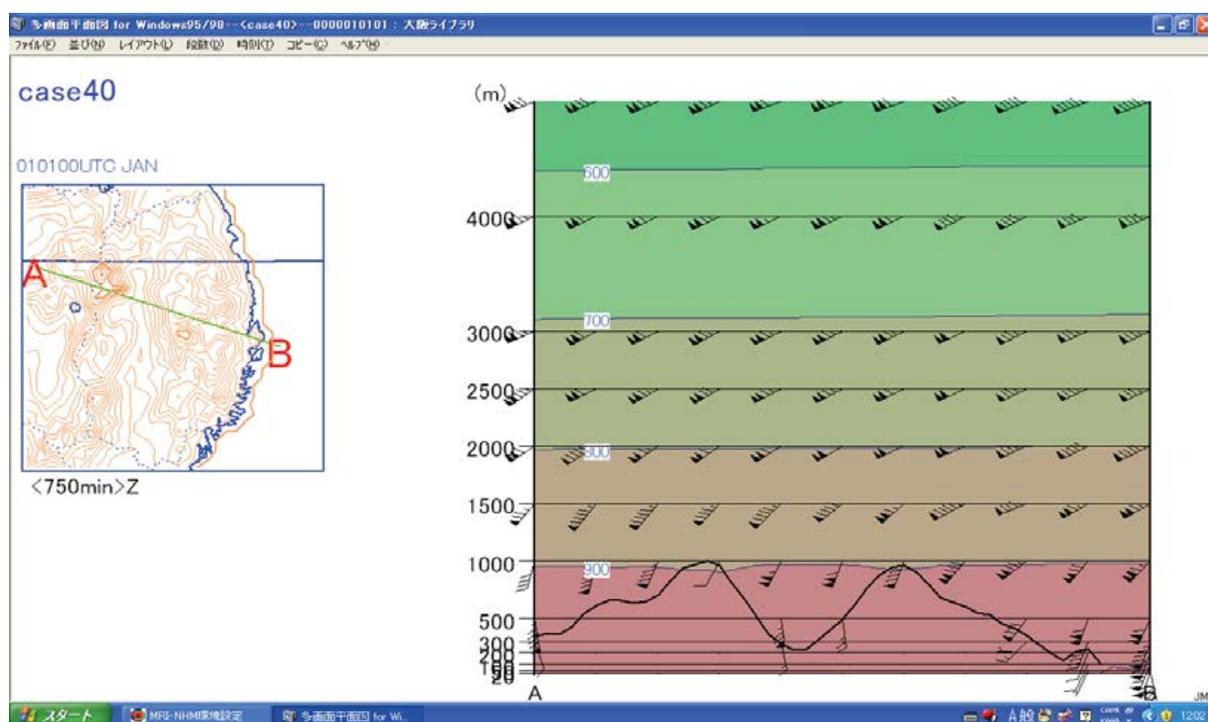


図 1-14 多画面平面図の鉛直断面図例（要素：地形、Wind、PT）

図 1-12 の状態から、鉛直断面図要素ボックス（図 1-13）の地形・Wind（風）・PT（気圧）にチェックを入れると、図 1-14 のような結果となる。図 1-14 を見ると、北西から南東に向かって風が吹いている様子や、高度が高くなるにつれて気圧が低くなっている様子がわかる。

1. 3 利用条件

「NHM 統合環境」が開発された当時の OS は、Windows 95 であるため、計算・地形編集・結果表示の全てを行えるようにするためには、様々な条件を満たす必要がある。以下に、その条件を記す。

1. 3. 1 NHM（計算）を実行する条件

NHM を実行するためには、PC の OS が windows であることが最低条件となる。NHM の実行のみであれば、windows 95 以降のバージョンで実行できる。

1. 3. 2 地形編集を実行する条件

計算に使用する地形を編集するためには、Microsoft Excel が必要である（1. 2. 4 参照）。Excel のバージョンは、Excel 2002、2003、2007、2010 で動作することは確認済みである。

1. 3. 3 描画ツール「多画面平面図」を実行する条件

この多画面平面図は、約 15 年前に作成された環境を引きずっているため、Windows 95 や XP 以外の OS で実行しようとする、異常終了してしまい、結果を表示することができない。つまり、現在の教育現場で使用されている PC の OS や、今後新しい OS の PC で多画面平面図を利用しようとしても、利用することができないという問題が発生してしまう。

「NHM 統合環境」を気象研究所の斎藤氏から提供していただいた当初、どのような条件であれば多画面平面図が使用できるか検証したところ、XP の PC または Windows 7 Pro の XP モードと Excel 2002 の環境でのみ、多画面平面図を実行することができた。そこで、授業実践の際には、その環境を整えて数値実験を行っていた。しかし、この環境を整えるのは現在の教育現場は難しいと考えたため、仙台航空測候所所長の白川氏に他の OS で多画面平面図を実行する対処法をご教示していただいた。

その対処法とは、「NHM 統合環境」を右クリックして「プロパティ」の「互換性」を選択する。そして、「互換モードでこのプログラムを実行する」にチェックを入れて、Windows 95 を選択する。以上の手順を行った後に「NHM 統合環境」を開くと、Windows 95 以降の OS や、Excel 2002 以外のバージョン(1. 3. 2 で確認済みのバージョン)でも、多画面平面図を実行できるということが明らかとなった。

第2章 「NHM 統合環境」を教材として利用するための検証

2.1 計算所要時間の比較

山本（2013）の実践から、数値実験の条件設定と計算の実行、そして実験結果から考察を行うためには、最低でも2時間は必要であるということが分かっていた。そこで、「NHM 統合環境」で NHM を実行する計算所要時間から逆算して授業を構成するために、上野ら（2000）の論文にならい、以下の条件で8種類の PC の計算所要時間を調査することにした（表2-1）。表で網かけしている箇所は、上野ら（2000）の論文から引用した。

【設定した条件】

- ・ 計算する領域（格子数）：64×64
- ・ 格子間隔：5000 m
- ・ 計算時間：1000 ステップ（6 ステップ＝1分、1000 ステップ＝約166分）
- ・ 計算時間間隔：10秒

CPU	Memory	Time
Pentium II 450MHz	128 MB	52 min
Celeron 500MHz	256 MB	49 min
Pentium III 600MHz	128 MB	41 min
Alpha 21164A 533MHz	256 MB	33 min
Pentium III 996MHz	496 MB	56 min
Pentium II 1,596MHz	896 MB	8.5 min
Core(TM) i5 2.40GHz	4.00 GB	7 min
Core(TM) i5-2520M 2.40GHz	4.00 GB	3 min

表2-1 CPU別計算所要時間

表2-1から、15年前のPCと現在のPCを比較すると約20倍計算時間が短くなっていることがわかる。また、矛盾している部分もあるが、周波数の高さやメモリの大きさに計算所要時間が依存しているということがわかった。

一方、計算所要時間に大きく関係している要因を調べるために、表2-1の下2段に記載している最新のPC2台を用いて、計算時間領域を変更した場合と、以下の予報オプション設定（図2-1参照）を行った場合の計算所要時間について調査した（表2-2）。

【予報オプション】

- ・ 地表面温度の予報法：JSM 準拠（1月1日0 UTC）
- ・ コリオリ力を考慮する
- ・ 降水系（cold rain）

表 2-2 条件別計算所要時間

	32×32	64×64
予報オプションなし	Core(TM) i5 2.40GHz 1.5min	Core(TM) i5 2.40GHz 7min
	Core(TM) i5-2520M 2.40GHz 0.5min	Core(TM) i5-2520M 2.40GHz 3min
予報オプションあり	Core(TM) i5 2.40GHz 4min	Core(TM) i5 2.40GHz 20min
	Core(TM) i5-2520M 2.40GHz 2min	Core(TM) i5-2520M 2.40GHz 8min

表 2-2 を見ると、「予報オプションなし」から「予報オプションあり」に変更すると約 2～3 倍の時間がかかっているのに対し、格子数を 32×32 から 64×64 に変更すると、約 4～5 倍の時間がかかっている。つまり、計算所要時間に大きく関わっているのは、格子数であるということが明らかとなった。

2. 2 整合性の検証

「NHM 統合環境」は、気象庁や気象研究所で気象現象の立体構造を解明するなどといった研究目的で使用されていたプログラムであるが、約 15 年前に製作されたものであるため、実際の気象現象との整合性を検証することにした。

2. 2. 1 検証方法

佐野・長岡（2002）が、北上川流域で起こる朝曇りの構造を「NHM 統合環境」で解明するために、鉛直プロファイルに仙台の高層観測データを入力して数値実験を行っていた。この手法を参考にして、初期値に実際の気象観測データを入力すると、実際の気象現象を再現することができるのかを検証することにした。今回は、北東北地方を対象にシミュレーションを行うため、高層の気象観測を行っている秋田県秋田市の気象観測データを鉛直プロファイルに入力して数値実験を行うことにした。気象観測データは、気象庁のホームページにある「過去の気象データ検索」

から取得した。使用した気象要素は、高度・風向・風速・気温・相対湿度の5つの要素である。

実際の観測データを鉛直ファイルに入力した実験結果が、実際の気象現象と一致しているかを、西山（2013・2015）が DVD-NHM（序章参照）や CReSS（6.1参照）を用いてシミュレーションした結果と比較することで、整合性を検討することにした。数値モデルによって、それぞれ条件設定の方法は異なるが、西山（2015）が設定した条件とできる限り同じ条件で、「NHM 統合環境」のシミュレーションをすることにした。なお、使用した PC は、CPU に Intel i7 を搭載している Mouse Computer LB-T504 である。

2. 2. 2 DVD-NHM との比較

検証実験で設定した条件は、表 2-3 の通りである。設定条件は、西山（2013）の設定を参考にした。「NHM 統合環境」の鉛直プロファイルに設定したデータは、図 2-1 に示す。DVD-NHM の z 方向（鉛直方向）設定は、平面の領域設定と同様、格子数と格子間隔をそれぞれ入力することで設定できる。「NHM 統合環境」は、設定できる高度が 0 m～13000 m までと固定されているため、z 方向の格子間隔や格子数を決めることはできない。

なお、DVD-NHM の結果は webpandah という描画ツールを用いている（山本，2013）。

表 2-3 「NHM 統合環境」と DVD-NHM の設定条件と出力時間

	NHM 統合環境	DVD-NHM
計算開始日時	2012 年 12 月 12 日 18 時	
計算時間	24 時間	
計算時間間隔	20 秒	
格子数 (x×y)	32×32	30×30
格子数 (z)		40
格子間隔	10000 m	
中心緯度	39.6 度	
中心経度	141.0 度	
出力時間	2012 年 12 月 13 日 15 時	

	高度 m	風向	風速 m/s	U成分 m/s	V成分 m/s	気圧 hPa	気温 ℃	温位 K	湿数 ℃	湿度 %
第01層	0	113	1.6	-1.5	0.6	1013.3	1.0	273.1	0.9	94
第02層	7	130	2.2	-1.7	1.4	1012.4	-0.1	272.1	1.3	91
第03層	378	312	5.0	3.7	-3.3	970.0	-1.2	274.3	0.6	96
第04層	1132	268	13.0	13.0	0.5	885.1	-7.1	275.5	2.7	81
第05層	1893	252	11.0	10.5	3.4	806.1	-12.2	277.5	3.2	77
第06層	2122	270	9.0	9.0	0.0	783.6	-13.5	278.4	2.6	81
第07層	2658	266	11.0	11.0	0.8	733.3	-16.5	280.4	9.2	45
第08層	3023	289	16.0	15.1	-5.2	699.3	-15.6	285.3	28.1	7
第09層	3613	296	18.0	16.2	-7.9	649.3	-18.1	288.6	22.5	12
第10層	3994	299	15.0	13.1	-7.3	617.1	-21.3	289.1	25.6	8
第11層	4615	276	13.0	12.9	-1.4	569.8	-25.0	291.4	27.3	6
第12層	5354	290	12.0	11.3	-4.1	516.3	-31.6	291.8	20.8	11
第13層	5732	270	11.0	11.0	0.0	490.5	-35.2	291.7	20.9	10
第14層	5982	280	10.0	9.8	-1.7	473.4	-35.2	294.7	20.9	10
第15層	6362	258	11.0	10.8	2.3	450.0	-40.0	292.9	19.2	11
第16層	6736	265	9.0	9.0	0.8	427.2	-41.3	295.7	114.2	0
第17層	6941	278	10.0	9.9	-1.4	414.7	-44.5	294.1	111.6	0
第18層	7453	253	10.0	9.6	2.9	386.3	-47.8	295.8	109.0	0
第19層	7737	275	13.0	13.0	-1.1	370.9	-51.5	294.3	106.0	0
第20層	8307	268	16.0	16.0	0.6	341.6	-53.3	298.9	104.6	0
第21層	8839	290	20.0	18.8	-6.8	315.8	-56.9	300.6	101.7	0
第22層	11840	278	35.0	34.7	-4.9	212.0	-52.6	343.6	105.1	0
第23層	12956	268	31.0	31.0	1.1	179.9	-53.9	358.0	104.1	0
第24層	13000	269	33.0	33.0	0.6	178.7	-54.0	358.5	104.0	0

図2-1 鉛直プロファイル設定（第1層～第24層）

・平面図

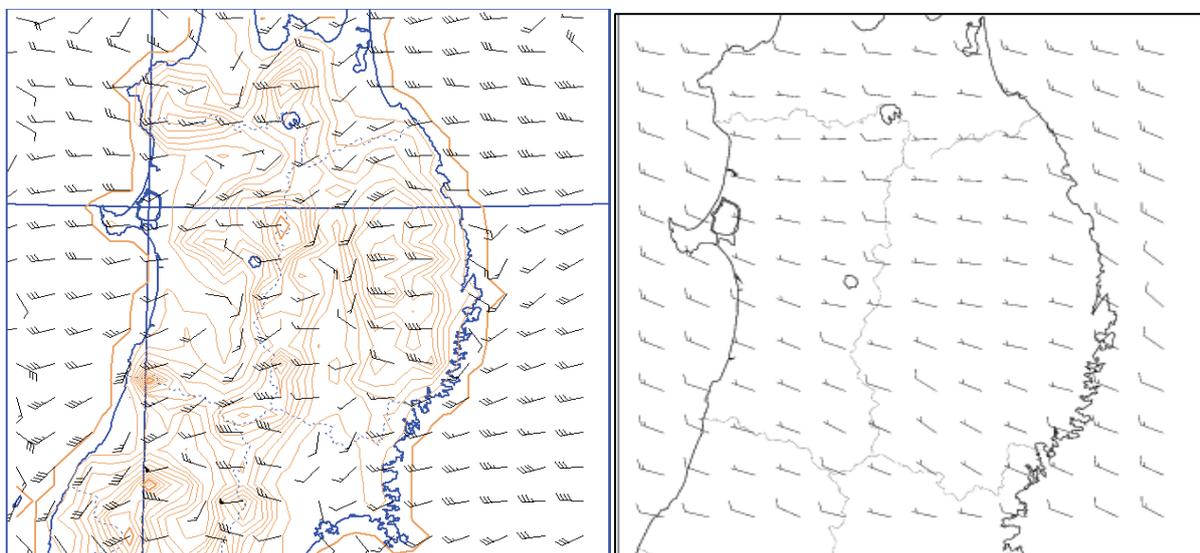


図2-2 「NHM統合環境」平面図（z、風）

図2-3 DVD-NHM平面図（WIND）

図2-2と図2-3は、風向・風速を矢羽根で表したものである。どちらの結果を見ても、日本海側と太平洋側では西風が吹いているのがわかる。しかし、図2-2の陸上における風向が変化しており、風速についても図2-2の方が強い傾向にある。

・断面図

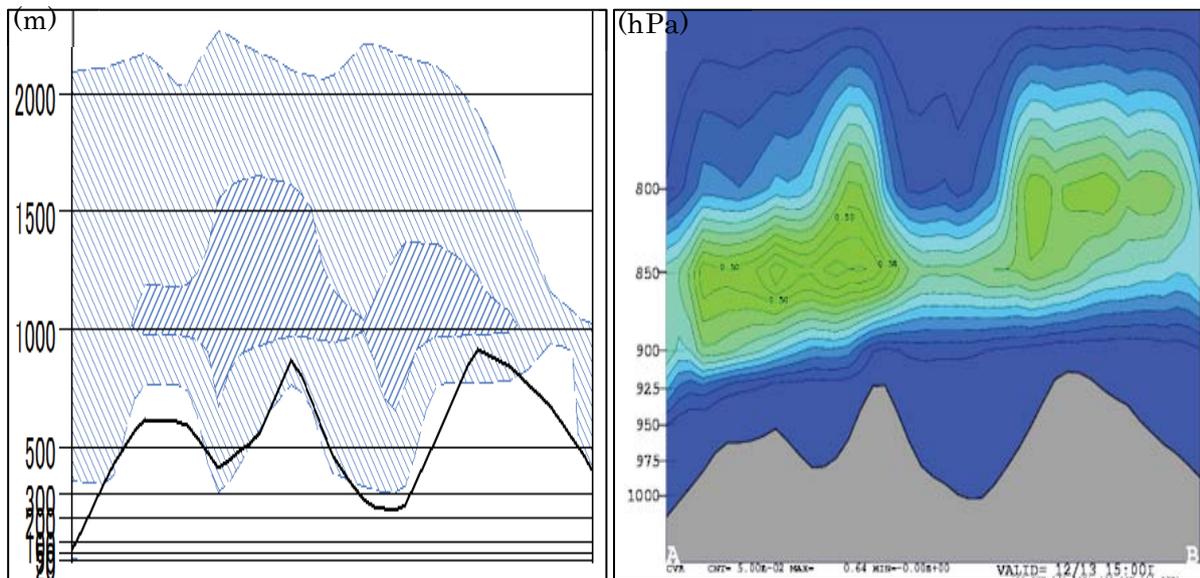


図 2-4 「NHM 統合環境」断面図（地形、湿度） 図 2-5 DVD-NHM 断面図（CVR：雲量）

図 2-4 の濃い青色の部分、つまり雲を表しており、図 2-5 の黄緑色の部分は、雲量を表している。多少異なるところもあるが、雲の形や雲ができている部分はおおよそ同じである。

2. 2. 3 CReSS との比較

検証実験で設定した条件は、表 2-4 の通りである。CReSS は並列マシン、「NHM 統合環境」はノート PC で数値実験をしているため、すべての条件を同じにすることはできない。しかし、計算する平面領域は、できる限り同じ範囲になるように設定した（「NHM 統合環境」：400 km×400 km=160000 km、CReSS：403 km×405 km=163215 km）。領域の座標は、「NHM 統合環境」は中心緯度・経度を設定するのに対し、CReSS は領域の左下座標を設定する。また、CReSS の z 方向（鉛直方向）の設定は、DVD-NHM と同様に、格子数と格子間隔を入力することで設定できる。

「NHM 統合環境」の鉛直プロファイルに設定したデータは、図 2-6 に示す。なお、CReSS の結果は、GrADS という描画ツールを用いている（西山, 2015）。

表 2-4 「NHM 統合環境」と CReSS の設定条件と出力時間

	NHM 統合環境	CReSS
計算開始日時	2011年12月12日9時	2011年12月12日12時
計算時間	33時間	30時間
計算時間間隔	10秒	600秒
格子数 (x×y)	32×32	403×405
格子数 (z, dzmin)		36, 50
格子間隔 (x と y)	12500 m	1000 m
格子間隔 (z)		200 m
中心緯度・経度	(39.6度, 141.0度)	
左下座標 (緯度, 経度)		(38.0, 138.8)
出力時間	2011年12月13日14時20分	

	高度 m	風向 °	風速 m/s	U成分 m/s	V成分 m/s	気圧 hPa	気温 °C	温位 K	湿数 °C	湿度 %
第01層	0	135	1.8	-1.3	1.3	1013.3	0.5	272.6	0.9	94
第02層	7	140	2.1	-1.3	1.6	1012.4	0.4	272.6	2.2	85
第03層	386	327	5.0	2.7	-4.2	969.1	-0.3	275.3	6.8	60
第04層	1490	261	10.0	9.9	1.6	847.9	-9.3	276.6	0.7	95
第05層	1987	251	13.0	12.3	4.2	796.4	-13.6	277.0	3.2	77
第06層	4093	278	41.0	40.6	-5.7	609.5	-25.4	285.4	22.8	10
第07層	6957	272	58.0	58.0	-2.0	413.7	-45.6	292.9	110.8	0
第08層	7438	272	73.0	73.0	-2.5	387.2	-50.4	292.2	106.9	0
第09層	7892	271	74.0	74.0	-1.3	362.4	-52.5	294.9	105.2	0
第10層	8865	270	68.0	68.0	0.0	314.5	-54.1	304.9	103.9	0
第11層	9575	269	81.0	81.0	1.4	283.3	-54.8	313.1	103.4	0
第12層	12610	265	69.0	68.7	6.0	189.9	-50.9	357.3	106.5	0
第13層	13000	269	33.0	33.0	0.6	178.7	-61.1	347.0	98.4	0

図 2-6 鉛直プロファイル設定 (第1層～第13層)

・平面図

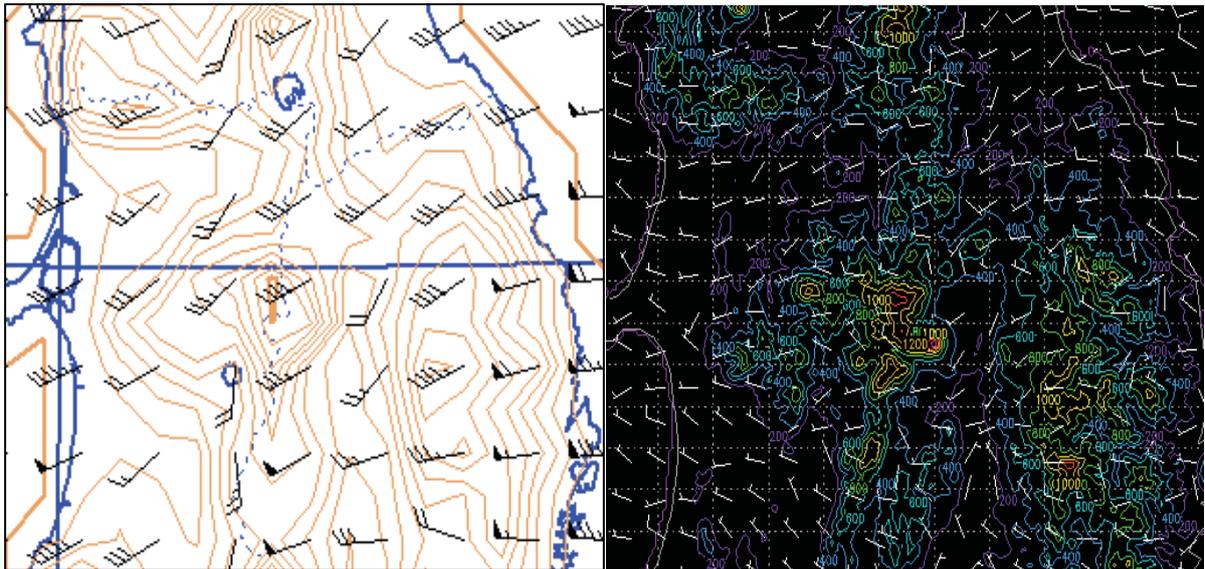


図 2-7 「NHM 統合環境」平面図 (Z、風) 図 2-8 CReSS 平面図 (矢羽根)

図 2-7 と図 2-8 は、風向・風速を矢羽根で表したものである。計算領域は、東北全体という広い領域を設定したが、西山 (2015) が出力した領域に合わせて、「NHM 統合環境」の結果をトリミングした。格子間隔の差があるため、矢羽根の数は異なるものの、どちらの結果もおおよその風向は西向きになっている。

・断面図

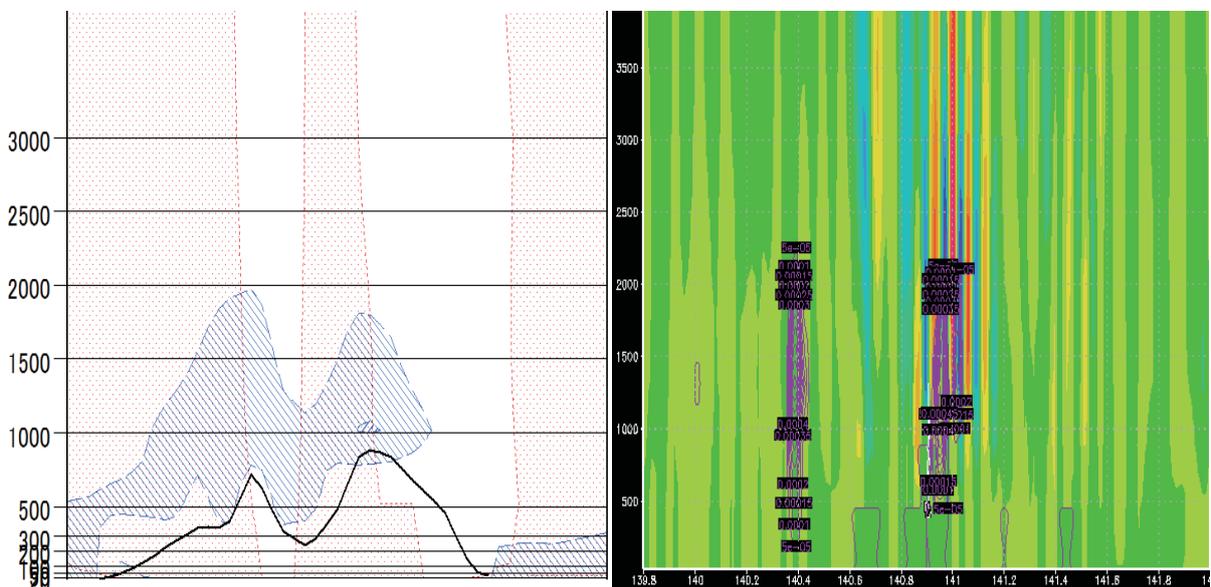


図 2-9 「NHM 統合環境」断面図 (地形、w、湿度) 図 2-10 CReSS 断面図 (w、qr+qc+qs+qg+qi)

図 2-10 の紫色は雲、暖色は上昇気流、寒色は下降気流を表している。図 2-9 の湿度が高い部分と中央の鉛直気流が、図 2-10 の雲の部分と上昇気流・下降気流が連なっている部分とほぼ一致している。

2. 2. 4 考察

「NHM 統合環境」の平面図で表示した風に関しては、風力は他の数値モデルより大きい値となってしまったものの、風向はほぼ一致していたことから、実際の地形による影響を考慮してシミュレーションを行っていると考えられる。

降水系を表した断面図では、雲の形や大きさは少し異なっていたものの、雲ができている場所はほぼ同じところであったことから、降水系に関する議論もできるのではないかと考えられる。

以上のことから、「NHM 統合環境」の実験結果は、附属中学校での授業実践で用いられた DVD-NHM や、実際の気象現象との整合性が確認されている CReSS の実験結果と比較的合致することが明らかとなった。つまり、「NHM 統合環境」の初期設定（鉛直プロファイル設定）に観測データを入力することで、実際の気象現象を比較的再現できると考えられる。

2. 3 教材として用いる利点

「NHM 統合環境」を教材として用いる利点は、以下の3点である。

- ①インターフェースが分かりやすく、操作が簡単であるため、生徒は一連の操作を理解しながら進めることができる。
- ②教育現場にあるような PC を用いても、比較的短い時間で NHM を計算することができる。そのため、中学校の通常授業（50分）の中で時間とともに現象が変化するような気象現象の数値実験を行うことができる。
- ③実際に観測されたデータを初期設定に入力すると、その計算結果が実際の気象現象と比較的合致している。ゆえに、気象現象について議論することが十分できる。

以上のことから、数値実験を行うことによる教育効果を検証するための教材として「NHM 統合環境」を用いることにした。

第3章 授業実践 -中学生対象-

3. 1 授業の概要

「NHM 統合環境」を利用した授業実践を、2015年3月4日（水）～6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4クラス148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。

3. 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」「地形変化による気象現象（海陸風循環）の変化を理解する」の2つとした。今回、海陸風を授業の題材として選択した理由は、地形を編集することによって大きく変化する要素が風向・風力であることである。実験結果から現象を考察する際に、一目見て違いがわかるような要素に着目した方が、生徒の理解を深めることができると考えたからである。また、授業時間が限られているため、数値実験を行う領域設定を比較的狭い範囲にし、局地的な気象を扱う必要がある。そこで、偏西風や貿易風などといった広い範囲で観測されるものではなく、海と陸の温度差で風向が日変化する海陸風を扱うことにした。

3. 1. 2 実験環境

実験環境は、図3-1の通りである。今回授業に用いたPCは、CPUにIntel i7を搭載しているmouse computer LB-T504Bである。授業実践を行う時期は、まだWindows 7 ProのXPモードとExcel 2002の環境下でのみ、「NHM 統合環境」を実行できるとされていた。そこで、PC上にそれらをインストールし、「NHM 統合環境」が使用できるシステム環境を理科室の班編成に合わせ、10セット用意した。



図3-1 実験環境（PC、マウス）

3. 1. 3 授業構成

授業は、2時間連続（50分2コマ）で構成した（表3-1）。授業の核となる2つの学習の目的と内容をそれぞれ以下に示す。

【数値積分の基本概念の学習】

この学習は、授業の目的の1つである、「数値実験の仕組みを理解する」ための学習である。この学習の目的を「将来の気象状況を現在の気象状況（初期値）を基にして予測していることを理解する」と、「格子の概念を学習し、格子が増えると計算時間が多く必要となることを理解する」の2つとした。

授業内容は、主に、将来の温度を求める偏微分方程式「移流方程式」（式3-1）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。

まず、数値予報や数値実験で用いられている様々な流体力学の方程式を中学生に見せる。その中から、将来の温度を求める移流方程式（式3-1）を取り上げ、この式をPCになった気持ちで解いていくことを説明する。生徒に最初に示した式は、以下の式である。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{式 3-1})$$

T：温度（℃）、t：時間（s）、u：風速（m/s）、x：距離（m）をそれぞれ示している。

式3-1に含まれている偏微分（微分）のおおよその意味は、一次関数の変化の割合（傾き）を取り上げて説明した。数学ですでに学習した、 X_0 と X_1 間の線分の傾きを復習し、偏微分では X_0 と X_1 間を限りなく0に近づけた点の傾きを示していることを教えた。その後、偏微分方程式の形では、人間もコンピューターも数値的に求めることができないため、数列の形に書き直し、四則演算で求められる形に変形した式を生徒に示した（式3-2～式3-6）。なお、偏微分方程式から数列の形に書き直す考え方・方法は、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氏が考案した。それを基に、中学生が解きやすいような式の形に変形した。

$$\frac{T(x,t+1)-T(x,t)}{\Delta t} = \frac{-uT(x+1,t)-T(x-1,t)}{2\Delta x} \quad (\text{式 3-2})$$

$$\frac{T(x_0,t_1)-T(x_0,t_0)}{\Delta t} = -u \frac{T(x_1,t_0)-T(x_{-1},t_0)}{2\Delta x} \quad (\text{式 3-3})$$

$$\frac{T(x_0,t_1)-T(x_0,t_0)}{\Delta t} = \frac{-u\Delta t}{2\Delta x} \{T(x_1,t_0) - T(x_{-1},t_0)\} \quad (\text{式 3-4})$$

$$T(x_0, t_1) - T(x_0, t_0) = \frac{-u\Delta t}{2\Delta x} \{T(x_1, t_0) - T(x_{-1}, t_0)\} \quad (\text{式 3-5})$$

$$T(x_0, t_1) = T(x_0, t_0) + \frac{-u\Delta t}{2\Delta x} \{T(x_1, t_0) - T(x_{-1}, t_0)\} \quad (\text{式 3-6})$$

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 3-6 の形を言葉の式で表現すると、式 3-7 のようになる。

$$(\text{将来の温度}) = (\text{現在の温度}) + \left(\frac{-\text{風速} \times \text{微小時間}}{2 \times \text{微小距離}} \right) \times \\
\{ (\text{現在の右隣の地点の温度}) - (\text{現在の左隣の地点の温度}) \} \quad (\text{式 3-7})$$

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倍で割ったもの(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、「現在の温度」を足すことによって求められる。この式(式 3-6)であれば、四則演算で計算することができる。この式を用いて、4地点の10秒後(D組のみ8秒後)の温度を手計算で求めることにした。

次に、生徒が手計算した領域と数値実験を行う時の計算領域を比較し、格子概念を学習する。生徒は、5m間隔で30m分の計算を行うが、数値実験で行う領域は、10000m四方の領域を32×32格子分、つまり、320km四方の領域を計算することを確認し、PCがどのような計算をされていて、とても多くの計算をしているということを理解させる。また、世界中の予報を行うとなると莫大な量の計算をしなければならないことから、手計算ではもちろん、ノートパソコンでも計算が間に合わないため、スーパーコンピューターが必要であることも学習する。この学習から、PCの有用性を実感できると考えた。

【地形による海陸風の変化の学習】

この学習は、授業のもう1つの目的である、「地形変化による気象現象(海陸風循環)の変化を理解する」ための学習である。この学習の目的は、「仮想的に編集した地形における数値実験結果から、その気象状況が起こる原因について考える」とした。

授業内容は、まず地形を変化させる5つのミッションの中から各班1つ選択し、それぞれのミッションを行う。1クラス10班編成であるため、1つのミッションに対して2つの班が行うようにした。5つのミッションとは、次頁に示す5つである。

<p>展 開 ①</p>	<p>4 数値実験プログラムについて学習する。 ・NHM 統合環境の詳細を知る。</p> <p>① ・NHM 統合環境を用いた岩手県の地形を見る。 ・気象要素の「風」を代入し、12 時間後、24 時間後の結果を見る。(海陸風を確認する。) ・海陸風が起こる条件(温度差)について確認する。</p> <p>5 海陸風の数値実験を行う。 ・地形を編集する5つのミッションの中から1つ選ぶ。 ・地形編集(Excel の操作)以外の設定を一緒に行う。 ・地形編集の設定は、プリントを参照しながら各自で行う。(図3-3、図3-4) ・すべての設定が終わったら計算を実行させる。</p>	<p>3 0</p> <p>4 5</p>	<p>○あらかじめ岩手県の元データを PC に保存しておき、元データと実験結果を比較できるようにする。</p> <p>■多画面平面図マニュアル(図3-5)</p> <p>○多画面平面図の使い方プリントを見ながら作業させる。</p> <p>○数値実験の結果から、海陸風に着目させる。</p> <p>○条件の異なる操作手順プリントを配布する。</p> <p>○机間巡視を行い、各自の条件を設定できるように助言する。</p>
<p>休憩</p>	<p>(早く作業が終わった場合、多画面平面図の説明を行ってから休憩に入る。)</p>	<p>5 5</p>	
<p>展 開 ②</p>	<p>6 多画面平面図の使い方を学習する。 ・計算結果を表示する多画面平面図の使い方を再度確認する。また、平面図だけではなく、断面図の見方などの表示の仕方も確認する。 ・計算が終わるまで、多画面平面図の元データを操作して海陸風やその他の気象状況を確認する。</p> <p>7 結果確認 ・計算が終了した班から、多画面平面図で結果を確認する。 ・地形を編集することによって、海陸風やその他の気象状況がどのように変化しているのかを確認する。</p>	<p>7 0 (15)</p> <p>8 0 (25)</p>	<p>○様々な視点から考察できるように、様々な表示の仕方を教える。</p> <p>○海陸風循環や海風前線などを、多画面平面図で表示しながら学習する。</p> <p>■学習プリント(図3-6)</p> <p>○結果を出力できた班から学習プリントに記入させる。</p>

	<p>8 考察・まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気象状況が地形によって変化した結果をまとめ、その原因を考察する。 ・各班で考察したことをホワイトボードに書き、サイド黒板に掲示する。 ・全員のホワイトボードが掲示されたら、ミッションごとに自分たちの班の考察を発表する。 ・まとめ例 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>太平洋に島を作っても、海陸風ができたことから、海と陸があれば陸と海の温度差により、海陸風が吹く。 など</p> </div>	<p>100 (45)</p>	<p>○ホワイトボードに考えたことを記入させる。</p> <p>○ホワイトボードは、できた班から黒板に掲示する。</p>
<p>終 結</p>	<p>9 アンケート・感想記入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ポストテストを解いたり、事後アンケートを記入したりする。 	<p>110 (50)</p>	<p>○学習プリントとポストテスト、アンケートを回収する。</p>

3. 1. 4 使用した教材 (A組・B組)

A組・B組の授業で共通して使用した教材は、以下の4つである。

・「天気予報のしくみ」プリント (図3-2)

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。表とグラフを書きやすくするために、A3の用紙に印刷した。

生徒は、まだ2次関数のグラフ(曲線グラフ)学習していないため、あらかじめ初期値(0秒)の温度分布のグラフを記入しておき、それを参考にしながら計算結果のグラフを描けるようにした。

そ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。

・「ミッション」プリント (図3-3、図3-4)

地形を編集する補助プリントとして、条件設定の画面で入力する項目を示したものの(図3-3)と、地形編集の画面を表示したものの(図3-4)を用意した。図3-4のプリントでは、「高度」と「海陸分布」で編集する箇所を太枠で囲んでいる。その太枠の中に、図3-3で記している値を入力することで、地形を編集する。(例

例えば、岩手県に湖を作る場合は、プリント（図3-4）の太枠の中の「高度」を「0(m)」、「海陸分布」を「0」にする。）

・多画面平面図マニュアル（図3-5）

実験結果を見る多画面平面図の使い方は、「多画面平面図マニュアル」という補助プリントを用意した。実験結果を見る上で必要となる、気象要素の選択方法を中心に、全ての操作方法を細かく記載した。

・学習プリント（図3-6）

実験結果や考察・まとめを記入する学習プリントは、平面図・断面図の結果を文章だけで書くのは難しいと判断し、実験結果を図として記入できるようにした。実験結果の図の下には、実験結果のような気象現象となる理由（原因）を実験結果の図ごとに書きたいと思う生徒がいるかもしれないと思い、小さな欄を設けた。その欄とは別に、全ての実験結果からわかったことを記入するスペースを用意した。

天気予報のしくみ

組 _____ 班 _____

天気予報の作成手順



数値予報で行われている計算を電卓で試みよう！

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

$$\left. \begin{array}{l} u = 1 \text{ m/s } (-u = -1 \text{ m/s}) \\ \Delta t = 1 \text{ s} \\ \Delta x = 5 \text{ m } (2\Delta x = 10 \text{ m}) \end{array} \right\} \frac{-u\Delta t}{2\Delta x} = \boxed{}$$

	X_{-2}	X_{-1}	X_0	X_1	X_2	X_3
0	0.0	2.7	4.5	4.9	3.8	1.4
1	-0.5					1.9
2	-1.1					2.4
3	-1.6					2.9
4	-2.1					3.4
5	-2.6					3.8
6	-3.1					4.2
7	-3.6					4.5
8	-4.0					4.8
9	-4.3					5.0
10	-4.7					5.2

u

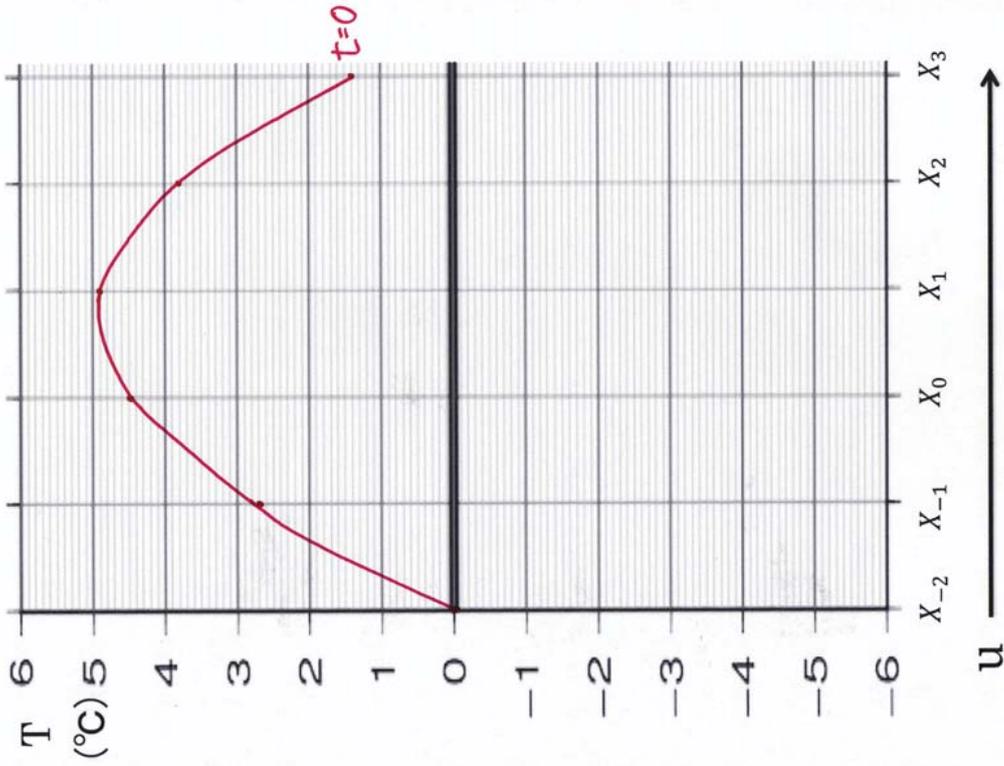


図3-2 「天気予報のしくみ」プリント

ミッション①「島を作る」

① 計算時間を以下のように設定する。

- ・計算時間：8640 ステップ
- ・計算時間間隔：10 秒間隔
- ・GPV 出力時間：360 ステップ毎

② 予報オプションを以下のように設定する。

- ・『予報しない』を『JSM 準拠』にし、『7月1日 15UTC』にする。
- ・『コリオリ力を考慮する』にチェックを入れる。
- ・『降水系』にチェックを入れて、『cold rain』にチェックを入れる。

③ 計算領域を以下のように設定する。

- ・格子数：32×32
- ・格子間隔：10000m
- ・領域中心緯度：39.0 度
- ・領域中心経度：141.5 度

④ 鉛直設定をする。

- ・すべて層の『風速』を 0m/s にする。

⑤ 「地形編集」にチェックを入れる。

⑥ 「RUN」を押す。

- ・『Excel で編集します』と出てきたら、『OK』を押す。
- ・『指定されたファイルは、格子数 32×32 です。このまま実行しますか』と出てきたら、『はい』を押す。
- ・『高度データ、海陸分布データ、粗度データを編集後、[書き込み] ボタンを押して下さい』と出てきたら、『OK』を押す。

⑦ 次のページ以降に書かれている図と元に、枠で囲まれている部分を以下のように変更する。(Excel の下の部分に、「高度」や「海陸分布」がある。)

- ・『高度』を選択し、枠の中を『124』（盛岡市役所と同じ高度）に変更する。
- ・『海陸分布』を選択し、枠の中を『1』に変更する。

⑧ 「メニュー」の「書き込み」を押す。

図 3-3 ミッション例（太平洋に島を作る）①

多画面平面図マニュアル

『ファイル』

- 「要素選択」：平面図に表示したい気象要素を選択する。
・ 右のボックス

用語	気象要素名
風	風 (m/s) ※矢羽根
W (wind)	上昇流 (m/s)
PT (Potential Temperature)	温位 (K) ※273K=0°C
P (Pressure)	気圧 (hPa)
Z	高度 (m)
流線	風が流れている線
RH (Relative Humidity)	(相対)湿度 (%)

- ・ 真ん中のボックス

高度 (m) を選択する。 (sfc (surface) : 地表面)

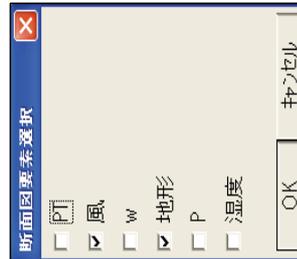
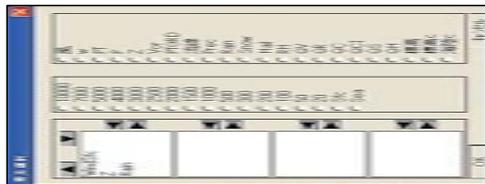
- ・ 左のボックス：平面図に表示する気象要素が表示される。

右の気象要素と真ん中の高度を選択し、で平面図に表示したい要素を決定。取り除きたい要素がある場合は、その要素をクリックして、 ボタンを「上」。

- 「断面図要素選択」

用語	気象要素名
PT (Potential Temperature)	温位 (K)
風	風 (m/s)
W (wind)	上昇流 (m/s)
地形	断面図の地形
P (Pressure)	気圧 (hPa)
湿度	湿度 (%)

断面図に表示したい要素にチェックを入れて、『OK』ボタンを押す。



『レイアウト』

- 「平面図のみ」：計算結果を平面図で表示する。
※ 「平面図のみ」のときは、画面上をクリックしないでください。
- 「任意断面図」：計算結果を断面図で表示する。
＜断面図を表示したい区間を指定する方法＞

画面左側の平面図上で、断面図を表示したい区間をマウスの右ボタンを押しながら線を引く。

FT (分)	実時間 (時)
FT=0	0時
FT=60	1時
FT=120	2時
FT=180	3時
FT=240	4時
FT=300	5時
FT=360	6時
FT=420	7時
FT=480	8時
FT=540	9時
FT=600	10時
FT=660	11時
FT=720	12時
FT=780	13時
FT=840	14時
FT=900	15時
FT=960	16時
FT=1020	17時
FT=1080	18時
FT=1140	19時
FT=1200	20時
FT=1260	21時
FT=1320	22時
FT=1380	23時
FT=1440	24時

『段数』

- ・ 表示する画像を1段～4段まで表示することができる。
- ・ 様々な時刻の結果を同時に見たいときに使うといいと思います

『時刻』

- 表示したい時刻を選択する。(分表示になっている。)
※右側にある表を参考にしてください。
- 「前時刻」と「次時刻」
- ・ 「前時刻」を押すと、6.0分前(1時間前)の画像を表示できる。
(「前時刻」を押す代わりに、[ctrl]と[+]と[-]を押しても1時間前の画像を表示することができます。)
- ・ 「次時刻」を押すと、6.0分後(1時間前)の画像を表示できる。
(「次時刻」を押す代わりに、[ctrl]と[+]と[-]を押しても1時間後の画像を表示することができます。)

- 「間隔」

- ・ 「間隔」を選択すると、平面図で表示する時間の間隔を変更することができる。
例えば、「2」を選択すると、2時間おきに表示することができます。

図3-5 多画面平面図マニュアル

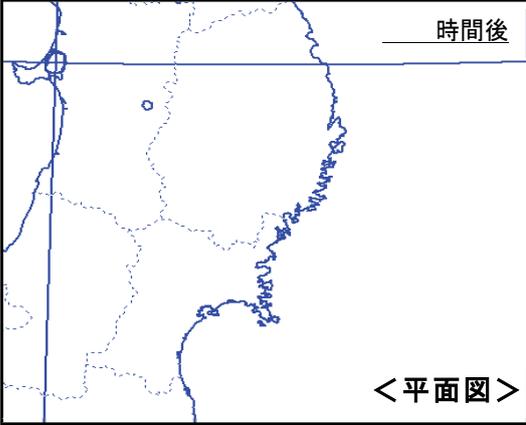
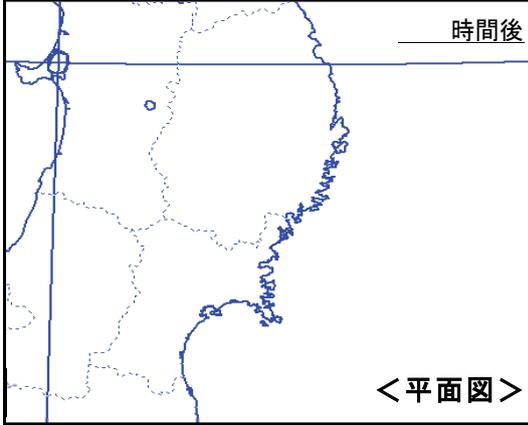
学習プリント

年 組 番 氏名 _____

課題

自分たちの班のミッションは… _____

結果 …図には、流線や風向などを自由に書き入れましょう。

時間後 _____	時間後 _____
	
<平面図>	<平面図>
理由：	理由：

<断面図> _____ 時間後 _____	結果から分かったこと
A (上の平面図にA-Bの線を書く。) B	
理由	

考察・まとめ

図3-6 2時間目に使用した学習プリント（全クラス共通）

3. 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踏まえて授業をしたが、授業前に考案した原案（表 3-1）のような流れで授業を行うことができなかった。その原因として、導入部分として取り入れていた移流方程式の計算に多くの時間を費やしてしまったことが挙げられる。そこで、計画していた内容が実施できなかった原因と実際に授業した内容、そして授業における生徒の様子や反応などを以下に述べる。

A組の授業では、導入で行う移流方程式の計算において、生徒2人で協力して計算しても、計算量が多くてほとんどの班が X_1 から X_2 までの4地点の温度を10秒後まで求めることはできなかった。1つの班が計算し終わったのを確認して、計算を途中で切り上げたが、天気予報が作成される流れの説明にも多くの時間を費やしてしまい、課題を掲示するのが授業開始から45分後になってしまった。

そのため、展開①の数値実験の条件設定、展開②の数値実験結果からの考察を急ぎ足で進める形となり、数値実験の条件設定の意味を解説したり、生徒が実験結果から考察したことを学習プリントに記入したりする時間を設けることができなかった。また、ホワイトボードに結果を記入して結果を共有することもできず、結果を口頭で発表してもらっただけの形となった。

一方、B組の授業では、数値実験の時間を多く設けるために、計算する時間をあらかじめ指定して、その時間になったら途中でも切り上げて、数値実験の条件設定に取り組んでもらうことにした。

ミッションをもとにExcelで地形編集を行ったが、地形編集画面（図 3-4）に入力する値を記載しなかったため、どの値を設定していいのかがわからないという生徒もいた。また、生徒がExcelの使い方を学習していなかったため、Excelの使い方の説明に時間がかかってしまった。しかし、導入時間を短縮したことにより、考察時間が10分と短かったものの、まとめまで終わらせることができた。今回もホワイトボードへの記入までいかなかったものの、自分たちの実験結果を電子黒板に表示させ、結果を共有することはできた（図 3-8）。



図 3-7 1 時間目の板書 (B 組)

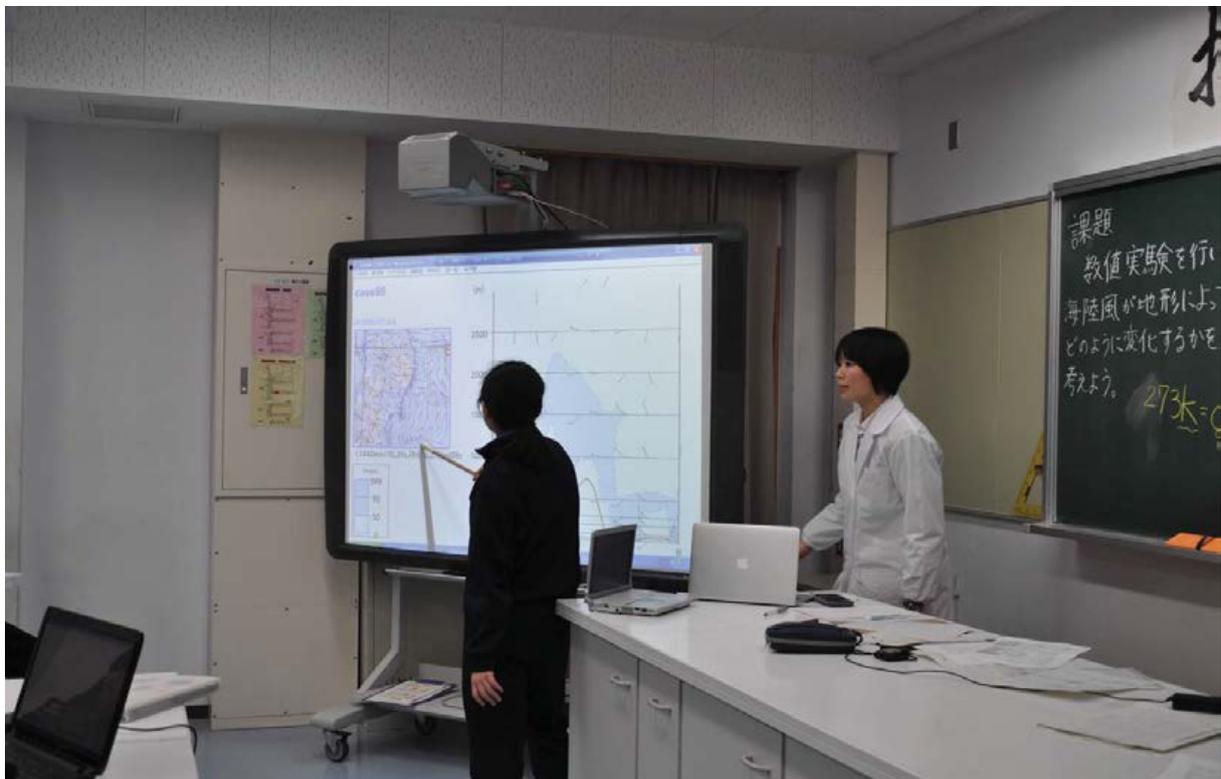


図 3-8 実験結果を電子黒板で表示し、考察を発表している様子 (B 組)

3. 1. 6 改善した授業実践の内容と使用した教材（C組・D組）

A組・B組での授業の反省を生かし、プリントの修正や補助教材の追加を行い、C組とD組の授業を実施した。様々な修正を加えて最終的に行ったD組の授業の指導案を表3-2に示す。なお、1時間目に使用したPPの内容は、D組の指導案(表3-2)以降(46頁～50頁)に提示する。

A組・B組の授業内容から大きく変更した点は、課題を掲示するまでの時間を短縮したことと、班の中で移流方程式を計算で解くグループと数値実験の設定(ミッション)を行うグループに分かれて作業を行ったことの2つである。前回までの授業では、課題を1時間目の中盤に提示していたため、何をするのがわからないまま授業が途中まで進行してしまうという状況であった。そこで、導入部分の天気予報の作成手順の説明を省略し、課題を早めに提示するようにした。

一方、移流方程式を計算で解く学習は、最初の計算だけ全員で解いて、手計算で将来の温度が出せることを実感してもらい、それ以降の計算は班の計算グループの人が解くようにした(図3-10)。また、D組のみ、計算する領域を4箇所から3箇所に変更し、10秒後までではなく8秒後までの温度を計算するようにした。その間に、数値実験の条件設定を行う班が、ミッションの用紙を見ながら設定を行うようにした(図3-11)。つまり、計算と条件設定を同時進行するようにして、時間短縮を図った。計算と条件設定の両方が終わったところで、計算結果(グラフ)を確認するようにした。以上のような時間短縮を行うことで、実験結果から考察をする時間を多く確保することができた(図3-12、図3-13)。

授業で使用した教材は、学習プリント(図3-6)のみ、A・B組と同じものを使用した。その他の教材は以下のような修正を加えた。

「天気予報のしくみ」プリントは、移流方程式の計算領域・計算時間を変更したことに伴い、表やグラフを変更した。多くの計算を行うよりは、自分でも将来の温度を求めることができるということや、手計算では将来の温度を求めるのは大変だということを実感してほしいと考えたため、計算量を減らすことにした。しかし、ある程度計算を行わないと温度が変化していく様子が捉えられないため、8秒後までの計算を行うようにした。その結果、D組は全ての班が計算を終わらせることができた(図3-14)。

ミッションに関しては、設定画面の画像を載せ、その画像の上に操作する順番を書き入れることで、文章を読まなくても画像を見るだけで設定を行えるようにした(図3-15)。地形編集画面は、地形を編集する部分を太枠で囲うだけではなく、「高度」と「海陸分布」の入力する値をそれぞれ表示したものを用意した(図3-16)。プリントに表示されている通り設定するため、設定ミスをする班もなく、全ての班

が実験結果を出すことができた。

多画面平面図マニュアルは、実験結果を見るために操作する、必要最低限の項目のみを抽出した（図3-17）。前回のマニュアルよりも記載事項を少なくし、操作するところを矢印で示したり、色で囲んだりすることで、スムーズに操作することができていた。また、プリントをラミネート加工することにより、マニュアルをよく見る生徒が多くなった。

新たに追加した教材は、全ての班の結果をまとめたプリントである（図3-18）。それぞれの班の結果は、班ごとの発表の時に電子黒板で確認できるが、自分たちの実験結果と比較することができなかった。そこで、全ての発表が終わった後にそのプリントを配布し、自分たちの実験結果だけではなく全ての実験結果から、地形によってどのように海陸風が変化しているのかを考察させた。その結果、A組・B組はほとんど学習プリントへの記入がなかったが、C組・D組は実験結果や自分の考えをプリントに記入する生徒が多くなった（図3-19）。



図3-9 1時間目の板書（C組、D組）

表3-2 学習指導案（D組）※実際に授業を行った流れ

	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
導入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既存の教科書に記載されている海陸風の図を元に、地上における海陸風について復習する。 <p>2 課題把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・数値予報ではなく、数値実験を行うことを確認する。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>数値実験を行い、海陸風が地形によってどのように変化するか考えよう。</p> </div>	5 10	<p>■PP（【1】～【3】）</p> <p>○地形を編集することによって、教科書で学習した海陸風が、どのように変化するかを考えることを確認する。</p> <p>・板書</p>
展開	<p>3 計算グループと条件設定グループに分かれる。</p> <p>① 3-1【計算グループ】</p> <p>移流方程式を手計算で行う。</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。（図3-10） ・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>3-2【条件設定グループ】</p> <p>海陸風の数値実験を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地形を編集する5つのミッションの中から1つ選ぶ。 ・設定は、プリントを参照しながら各自で行う。（図3-11） ・すべての設定が終わったら計算を実行させる。 	50	<p>■PP（【4】～【10】）、 「天気予報のしくみ」プリント（図3-14）</p> <p>○微分方程式を数列に変形した式を用いる。</p> <p>○計算方法が直感で分かるように、数直線などを用いて説明する。</p> <p>■PP（【11】～【15】） ミッションプリント （図3-15、図3-16）</p> <p>○条件の異なる操作手順プリントを配布する。</p>
	（休憩）	60	

展 開 ②	<p>4 多画面平面図の使い方を学習する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計算結果を表示する多画面平面図の使い方を学習する。 ・計算が終わるまで、多画面平面図の元データを操作して海陸風やその他の気象状況を確認する。 <p>5 結果確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計算が終了した班から、多画面平面図で結果を確認する。 ・地形を編集することによって、海陸風やその他の気象状況がどのように変化しているのかを確認し、学習プリントに記入する。 (図 3-6、図 3-14) <p>6 まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・他のミッションの結果を踏まえて、地形を編集した時の海陸風と元の地形の海陸風を比較し、分かったことをまとめる。 (図 3-19) ・まとめ例 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>島を作ると、その島にも海陸風ができたことから、海と陸があると海陸風が吹くことが分かった。 など</p> </div>	<p>75 (15)</p> <p>90 (30)</p> <p>100 (45)</p>	<p>■多画面平面図マニュアル (図 3-17)</p> <p>○多画面平面図の使い方プリントを見ながら作業させる。</p> <p>○あらかじめ岩手県の元データを PC に保存しておき、実験結果と比較できるようにする。</p> <p>○数値実験の結果から、海陸風に着目させる。</p> <p>○机間巡視を行い、海陸風の変化に着目できるように、助言する。</p> <p>○他のミッションの結果をまとめたプリントを配布する。(図 3-18)</p>
終 結	<p>7 海陸風循環の存在を知る</p> <ul style="list-style-type: none"> ・多画面平面図で 1500m 上空の風向を表示し、地上の風向と反対になり、風が循環していることを確認する。 	<p>110 (50)</p>	<p>○海陸風循環を、多画面平面図の断面図で表示して説明する。</p>

【授業で使用した PP】

次の頁以降に、授業で使用した PP のスライドを示す。

・授業で使用した PP のスライド

海陸風 海に面した地域では、海陸風とよばれる風がふく。海陸風は、季節風と似た現象で、風向きが1日のうちで変化する。

日中に陸があためられると、陸上の気温が海上の気温より高くなる。その結果、陸上の気圧が海上よりも低くなるので、海から陸へ向かって海風がふく。夜になって陸が冷えると、陸上の気温が海上の気温よりも低くなる。その結果、陸上の気圧は海上よりも高くなるので、陸から海へ向かって陸風がふく。また、海風と陸風が入れかわる朝方と夕方には、風が止まる時間帯がある。これを朝なぎ、夕なぎという。

活用 季節風の向きが、夏と冬で異なる理由について、「高気圧」「低気圧」「ユーラシア大陸」「太平洋」という言葉を使って説明しなさい。

(図2) 海陸風 陸が冷える夜には、海の上で上昇気流が生じるため、陸から海へ風がふく。陸があたまる昼には、陸の上で上昇気流が生じるため、海から陸へ風がふく。

【1】

・授業での説明(●)、生徒への発問等(▲)

●海陸風の復習を行う。

夜に陸風が吹き、昼に海風が吹くことを確認する。

▲どうやったら海陸風が吹いているのかを確認することができるとおもいますか？

シミュレーション (数値予報)

	1 水	2 木	3 金	4 土	5 日	6 月	7 火
札幌	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
釧路	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
秋田	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
仙台	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
新潟	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
金沢	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
長野	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
東京	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴

【2】

●天気予報の作成方法の説明

天気予報は、「シミュレーション」(数値予報)することによって作られていることを教える。また、海陸風のような風もシミュレーションできることを説明する。

▲天気予報で使われているようなシミュレーションソフトを使って、海陸風が吹いているかを確認しましょう。

シミュレーション結果

12時の結果

24時の結果

海陸風

【3】

●実際に見ることができるシミュレーション結果の提示

生徒たちが実際に実験を行う領域のシミュレーション結果を見せる。そして、今回は、地形を変えたときの海陸風をシミュレーションすることを確認する(5つのミッションを提示する)。

その後、課題を提示する。

数値予報・数値実験とは

● 数値予報 (天気予報)

気象要素 (風や雨など) を求める方程式に基づいて様々な計算を行い、将来の天気を予報すること。

● 数値実験

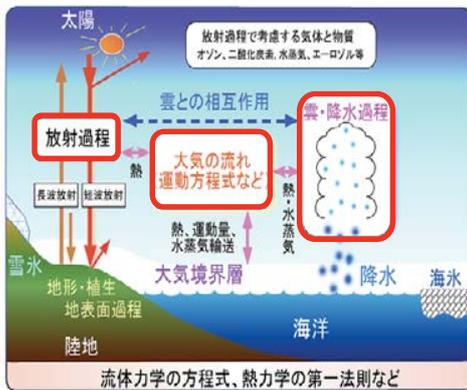
実際にはない地形などで、どのような気象状況になるのかを実験すること。

● 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】

コンピュータで行われていること



気象庁HPより <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

● コンピューターが行っていることを図で確認する。

大きく分けて、放射過程・降水過程・大気の流れについて考慮していることを確認する。

【5】

数値予報モデルで考慮される計算

放射過程 (熱に関する法則)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \theta}{\partial t} = \text{adv.} \theta + \text{Turb.} \theta - \bar{\rho} w \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} + \frac{\bar{\rho} C_p}{C_p \pi} (CN_v - EV_v - EV_n)$$

大気の流れ (力などに関する方程式)

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

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

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

雲・降水過程 (質量保存則)

$$\frac{\partial \bar{\rho} C_r}{\partial t} = \text{Adv.} q_r + \text{Turb.} q_r + \bar{\rho} (CN_r - CL_r - EV_r) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} U_r q_r)$$

● 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。

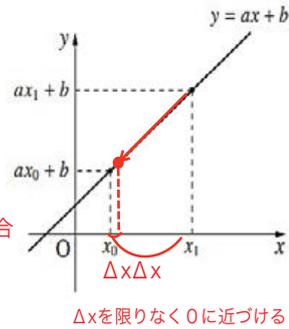
【6】

∂○/∂●って何？

【数学の復習】

変化の割合 = $\frac{y \text{ の変化量 }}{x \text{ の変化量}}$
= 線の傾き

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



●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？

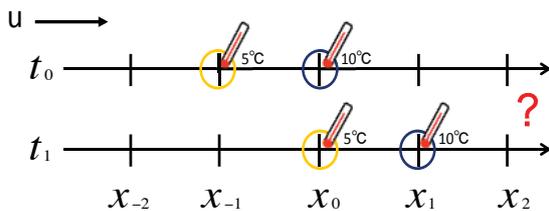
【7】

移流方程式

【温度の計算】

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} \quad T = \text{温度 (}^\circ\text{C)} \quad u = \text{風速 (m/s)}$$

$$t = \text{時間 (s)} \quad x = \text{場所 (m)}$$



●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) 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空気塊が、風 u が吹くことによって、次の時刻 t_1 ではどのように動いているのかを求めるのが移流方程式です。

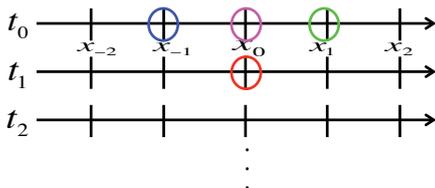
【8】

計算してみよう！

【温度の計算 (移流方程式)】

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

$$\text{1秒後の温度 (}^\circ\text{C)} = \text{現在の温度 (}^\circ\text{C)} + \frac{\text{-(風速) \times 時間}}{\text{距離 [(m/s) \times s] / m}} \times (\text{現在の右隣温度 (}^\circ\text{C)} - \text{現在の左隣温度 (}^\circ\text{C)})$$



●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1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。

【9】

計算してみよう！

【温度の計算（移流方程式）】

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

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

	x_{-2}	x_{-1}	x_0	x_1	x_2
0	0.0	2.7	4.5	4.9	3.8
1	-0.5				4.2
2	-1.1				4.5
3	-1.6				4.8
4	-2.1				5.0
5	-2.6				5.2
6	-3.1				5.3
7	-3.6				5.3
8	-4.0				5.3

【10】

● 計算の方法を確かめる。

数列の形に書き換えた移流方程式を用いて、『天気予報のしくみプリント』の表に計算結果を記入していくことを確認する。 x_0 における1秒後の温度のみを一緒に計算し、計算の方法（手順）を理解させる。

数値実験をしよう！

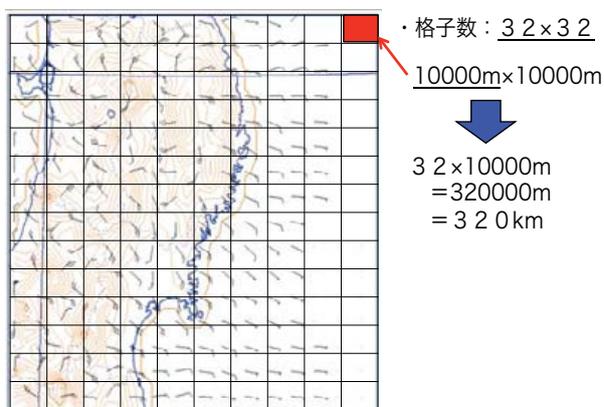
- コンピュータで計算をするために・・・
最初の値（初期値）が必要。
- 計算する時間：1日（24時間）
24時間 = 86400秒 = 10秒間隔 × 8640回
- 季節：夏（7月）
- 計算する領域：縦320km、横320km

【11】

●数値実験で行う設定の説明

手計算を行うときに、表の上の最初の数字があったからこそ計算をすることができたように、コンピュータでシミュレーションを行うためにも、初期値が必要であることを説明する。また、計算設定日時・領域についても説明する。

数値実験をしよう！



【12】

●数値実験で行う領域設定（格子概念）の説明

設定する格子数と格子間隔を確認し、実際にシミュレーションする領域の規模を確認する。

数値実験をしよう！

	高度 m	風向 °	風速 m/s	U成分 m/s	V成分 m/s	気圧 hPa	気温 ℃	温位 K	湿熱 ℃	湿度 %
第01層	0	90	0.0	0.0	0.0	1013.3	18.2	290.3	4.5	75
第02層	12	90	0.0	0.0	0.0	1011.9	18.1	290.3	4.5	75
第03層	676	166	0.0	0.0	0.0	935.9	15.9	294.6	4.4	75
第04層	908	191	0.0	0.0	0.0	909.3	16.5	297.6	4.4	75
第05層	1394	226	0.0	0.0	0.0	857.9	15.4	301.5	161.7	0
第06層	1907	237	0.0	0.0	0.0	804.7	13.4	304.9	159.9	0
第07層	3021	246	0.0	0.0	0.0	699.4	6.6	309.8	154.1	0
第08層	4274	248	0.0	0.0	0.0	595.7	-0.3	316.4	148.3	0
第09層	5722	250	0.0	0.0	0.0	491.2	-7.4	325.7	142.3	0
第10層	7442	254	0.0	0.0	0.0	386.9	-17.5	335.4	133.8	0
第11層	8439	255	0.0	0.0	0.0	335.2	-24.9	339.3	127.7	0

【13】

●数値実験の鉛直プロファイル設定の説明

今回の実験では、地形による海陸風の変化を見るため、最初に何も風がない状態を設定して、時間が経つにつれて風がどのように吹くのか、シミュレーションすることを説明する。

一方、地形を変える際に、Excelを用いるため、Excelの使い方を説明する。

これからすること

- ミッション遂行グループ
 - ・ ミッションに従って、コンピュータで実験の条件などを設定する。
- 計算実行グループ
 - ・ 移流方程式の計算を8秒後まで計算する。
 - ・ $t=2, 4, 6, 8$ の時の温度をグラフに描く。

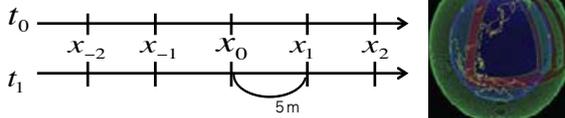
【14】

●これから行うことの確認

ミッション遂行グループと計算グループに分かれて作業することを確認する。時間短縮のため、数値実験の条件設定と移流方程式の計算を同時進行で行う。

数値予報をするために

- 世界中の数値予報をするとなると・・・
しかし、高性能のコンピュータが必要になる。
または予報に時間がかかる。



- 速く計算できるスーパーコンピュータが必要。
『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…。

●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？

【15】

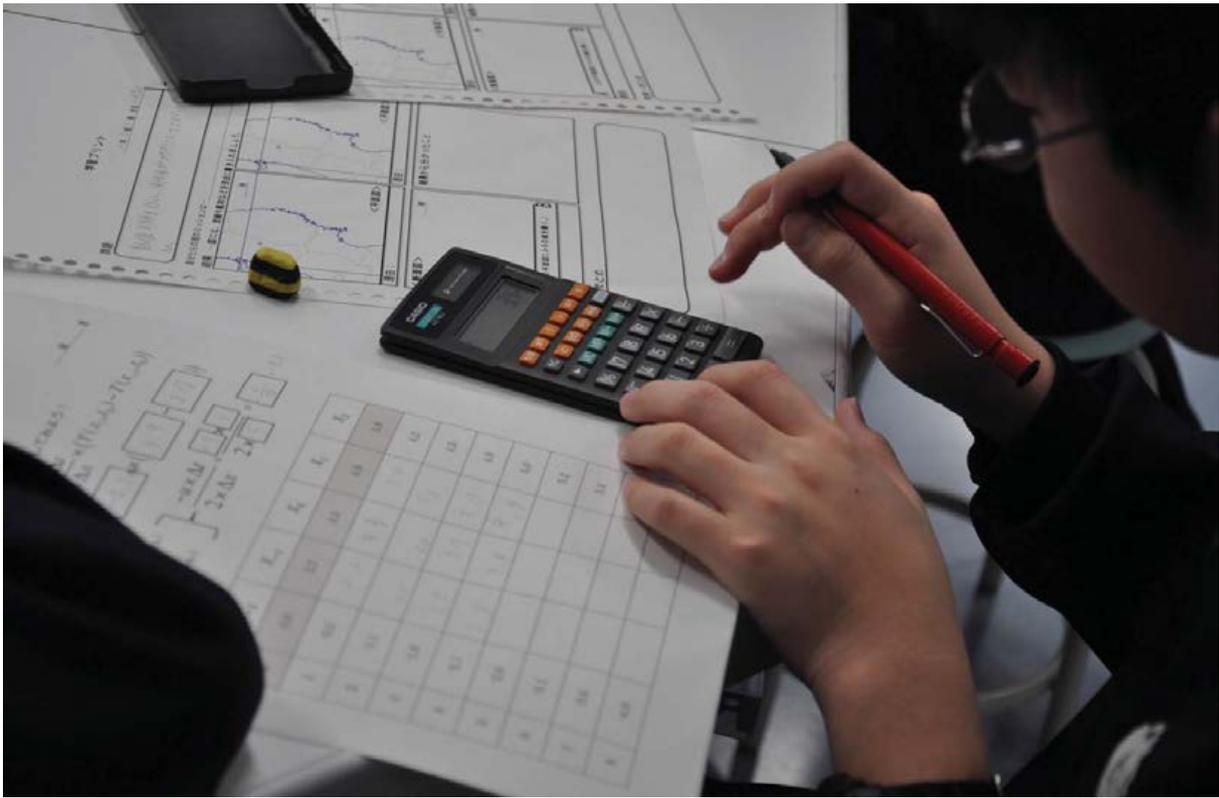


図 3-10 8 秒後の温度を手計算で求めている様子 (D 組)

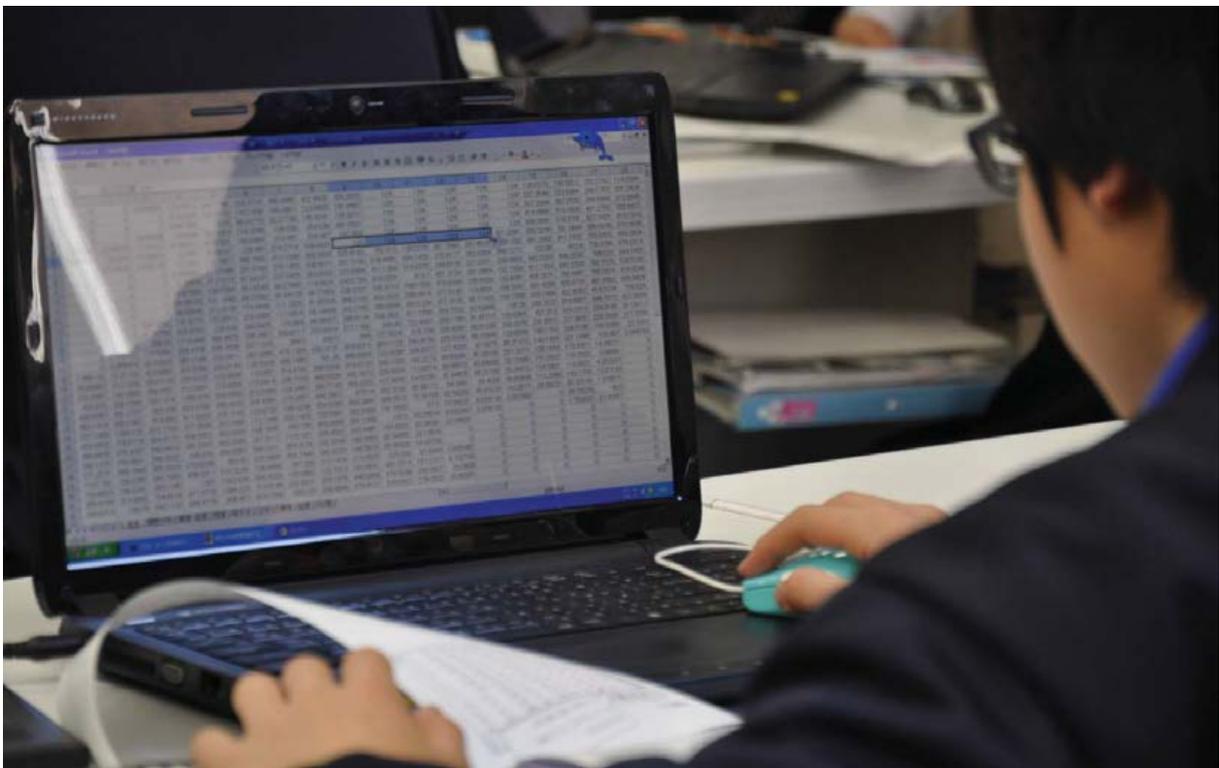


図 3-11 地形を編集している様子 (D 組)



図 3-12 自分たちの実験結果から考察を行う様子 (D 組)

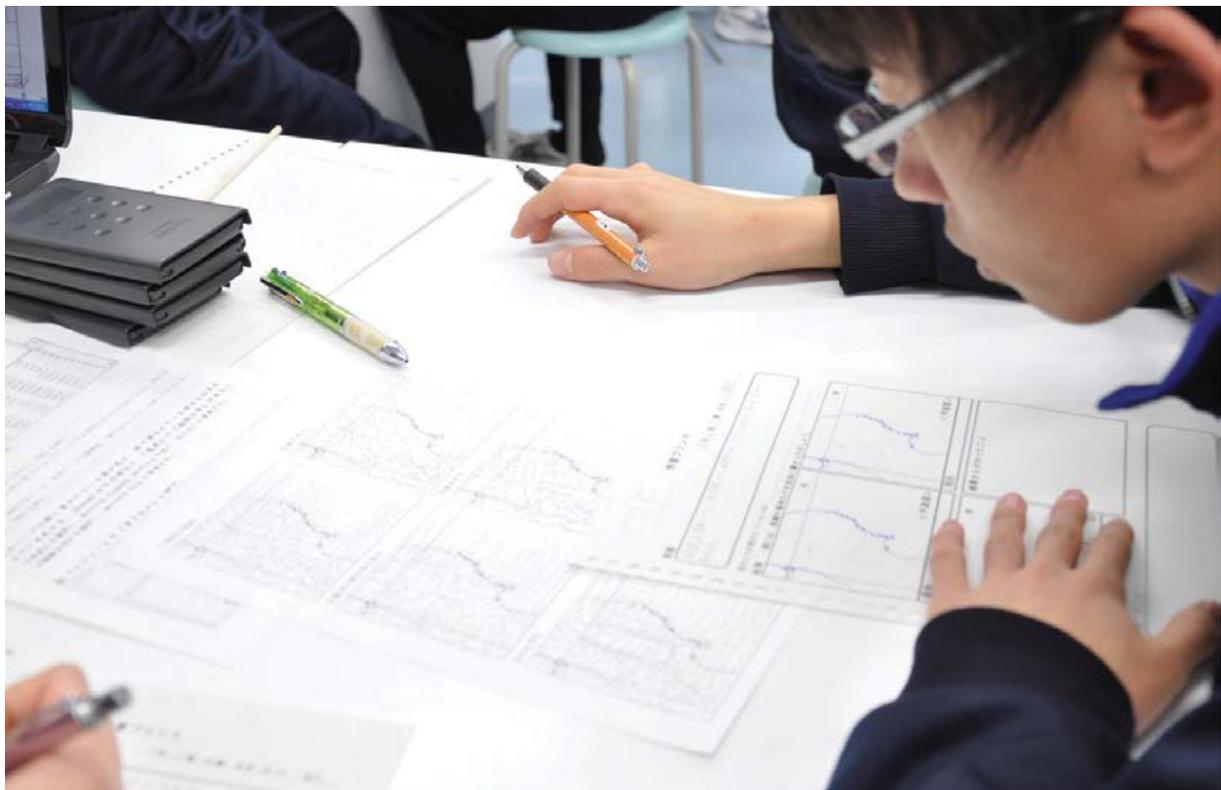


図 3-13 他の班の実験結果から考察を行う様子 (D 組)

天気予報のしくみ

D組 3班

数値予報で行われている計算を電卓でしてみよう!

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

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

4.28

$$u = 1 \text{ m/s } (-u = -1 \text{ m/s}) \quad \left. \begin{array}{l} -u \times \Delta t \\ \Delta t = 1 \text{ s} \end{array} \right\} = \frac{-1 \times 1}{1} = -1$$

$$\Delta x = 5 \text{ m } (2\Delta x = 10 \text{ m}) \quad \left. \begin{array}{l} -1 \\ 2 \times \Delta x \end{array} \right\} = \frac{-1}{2 \times 5} = -0.1$$

$\frac{\Delta x}{\Delta t}$	X_{-2}	X_{-1}	X_0	X_1	X_2
0	0.0	2.7	4.5	4.9	3.8
1	-0.5	2.3	4.3	5.0	4.2
2	-1.1	1.8	4.0	5.0	4.5
3	-1.6	1.3	3.7	5.0	4.8
4	-2.1	0.8	3.3	4.9	5.0
5	-2.6	0.3	2.9	4.7	5.2
6	-3.1	-0.3	2.5	4.5	5.3
7	-3.6	-0.9	2.0	4.2	5.3
8	-4.0	-1.5	1.5	3.9	5.3

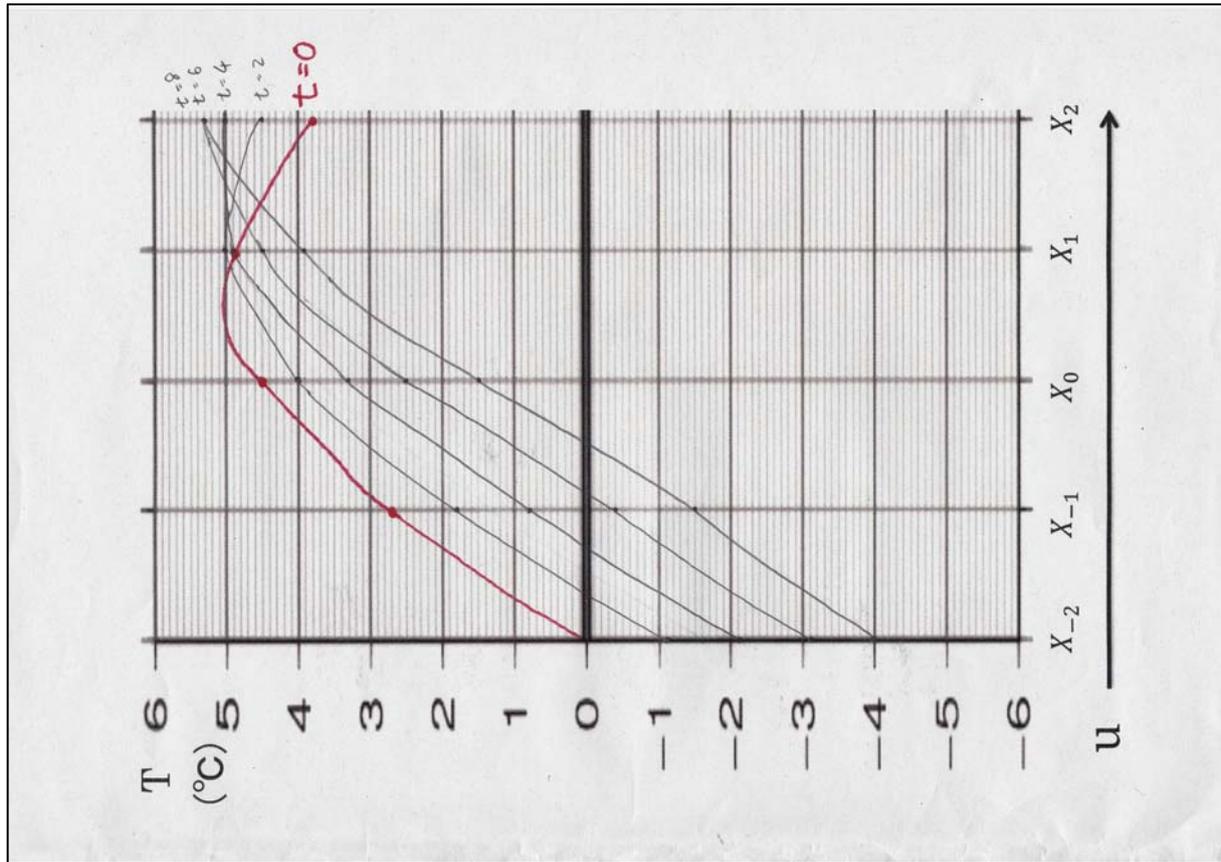


図3-14 「天気予報のしくみ」プリント (生徒記入済み)

ミッション④「山を作る」

① 計算時間と以下のように入力する。

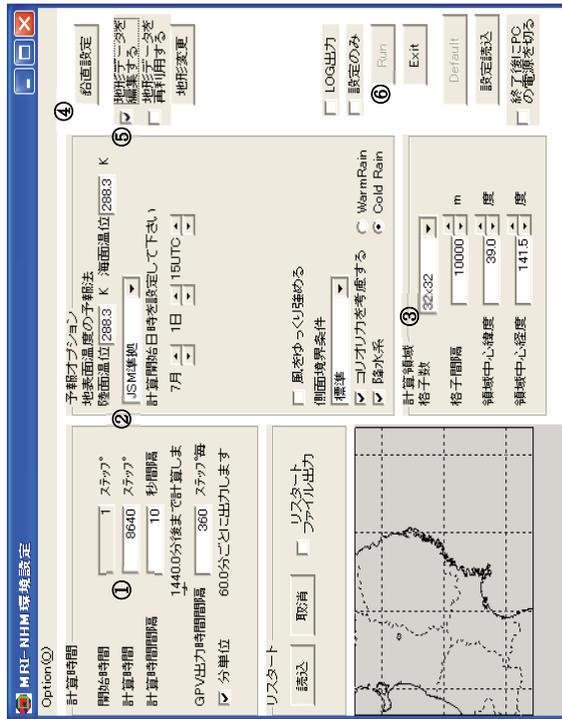
- ・ 計算時間：8640 ステップ
- ・ 計算時間間隔：10 秒間隔
- ・ GPV 出力時間：360 ステップ毎

② 予報オプションと以下のように入力する。

- ・ 『予報しない』を『JSM 雑観』にし、『7月1日 15 UTC』にする。
- ・ 『コリオリ力を考慮する』にチェックを入れる。
- ・ 『降水系』にチェックを入れて、『cold_rain』にチェックを入れる。

③ 計算領域と以下のように入力する。

- ・ 格子数：32 × 32
- ・ 格子間隔：10000m
- ・ 領域中心緯度：39.0 度
- ・ 領域中心経度：141.5 度



④ 鉛直設定とす。

- ・ すべての層の『風速』を 0m/s にする。
- ① 『0』を打ち込む。
- ② キーボードの下ボタン『v』を押す。
- ③ ①と②を第15層まで繰り返し。

層	高度 m	風向	風速 m/s	U	V	W
第01層	0	90	0.0	0.0	0.0	0.0
第02層	12	90	0.0	0.0	10133	182
第03層	18	90	0.0	0.0	2903	45
第04層	76	166	0.0	0.0	10119	181
第05層	908	191	0.0	0.0	9859	159
第06層	1394	226	0.0	0.0	9093	165
第07層	1907	237	0.0	0.0	8579	154
第08層	3021	246	0.0	0.0	8047	134
第09層	4274	248	0.0	0.0	6994	66
第10層	5722	250	0.0	0.0	5957	-03
第11層	7442	254	0.0	0.0	4912	-74
第12層	8439	255	0.0	0.0	3869	-175
第13層					3393	0
第14層					3393	0
第15層					3393	0

⑤ 「地形編集」にチェックを入れる。

⑥ 「RUN」を押す。

- ・ 『Excel で編集します』と出てきたら、『OK』を押す。
- ・ 『指定されたファイルは、格子数 32×32 です。このまま実行しますか?』と出てきたら、『はい』を押す。
- ・ 『高度データ、海陸分布データ、粗度データを編集後、『書き込み』ボタンを押して下さい』と出てきたら、『OK』を押す。

⑦ 次のページ以降に書かれている図と元は、枠で囲まれている部分と以下のように入力する。『Excel』の下の部分に、『高度』や『海陸分布』がある。

- ・ 『高度』を選択し、枠の中を『1500』(岩手山より低く、広い山)に変更する。
- ・ 『海陸分布』を選択し、枠の中を『1』に変更する。

⑧ 「メニュー」の「書き込み」を押す。



図 3-15 ミッション例 (山を作る) ①

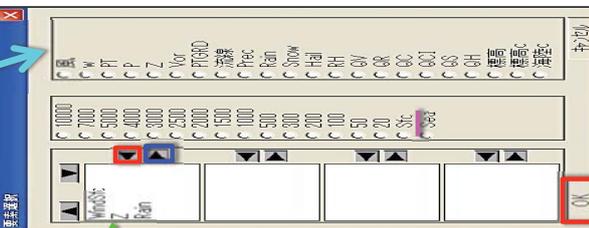
多画面平面図マニュアル

『ファイル』

- 「要素選択」：平面図に表示したい気象要素を選択する。
- ・ 右のボックス

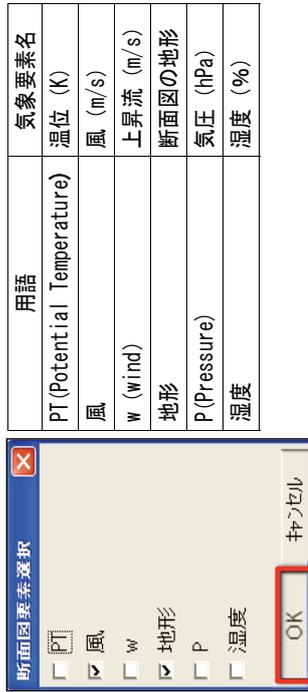
用語	気象要素名
風	風 (m/s) ※矢羽根で表示
w (wind)	上昇流 (m/s)
PT (Potential Temperature)	温位 (K) ※温度のようなもの
P (Pressure)	気圧 (hPa)
Z	高度 (m)
RH (Relative Humidity)	風が流れている線 (相対)湿度 (%)

※サイド黒板も参考にしてください。



- ・ 真ん中のボックス
sfc を選択する。
(sfc (surface) : 地表面)
- ・ 左のボックス
平面図に表示する気象要素が表示される。
- ・ 右の気象要素と真ん中の高度を選択し、
▶ ボタンで平面図に表示したい要素を決定。
- ・ 左ボックスの中で、取り除きたい要素がある場合は、その要素をクリックして、◀ ボタンを押す。
- ・ 最後に「OK」ボタンを押す。

- 「断面図要素選択」



断面図に表示したい要素にチェックを入れて、「OK」ボタンを押す。

『レイアウト』

- 「平面図のみ」：計算結果を平面図で表示する。
- 「任意断面図」：計算結果を断面図で表示する。
 <断面図を表示したい区間を指定する方法>
 画面左側の平面図上で、断面図を表示したい区間をマウスの右ボタンを押しながら線を引く。

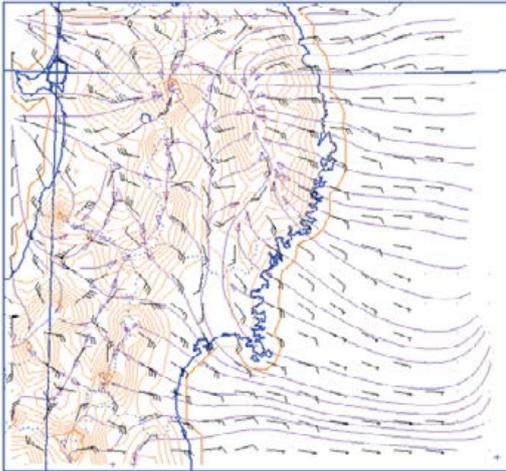
『時刻』

- 表示したい時刻を選択する。(分表示になっている。)

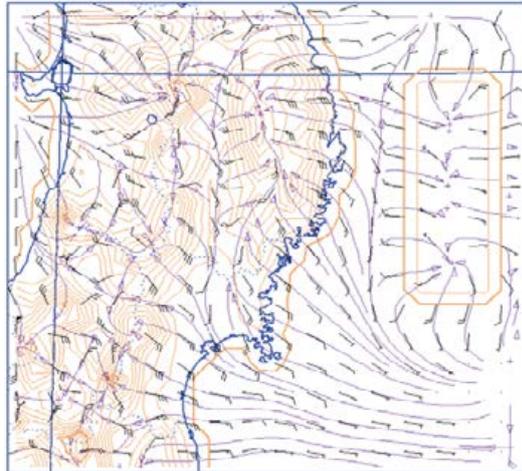
FT (分)	実時間 (時)
FT=0	0 時
FT=360	6 時
FT=720	12 時
FT=1080	18 時
FT=1440	24 時

図 3-17 多画面平面図マニュアル

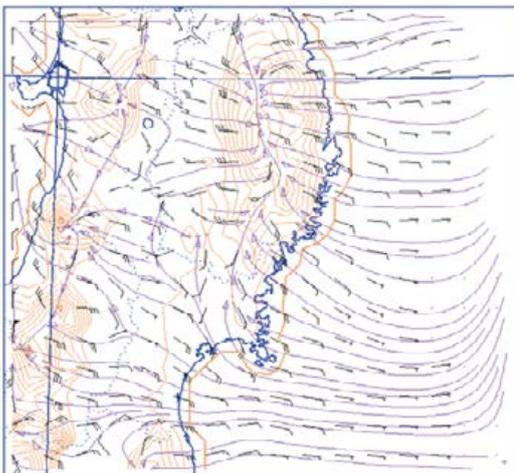
○現在の地形



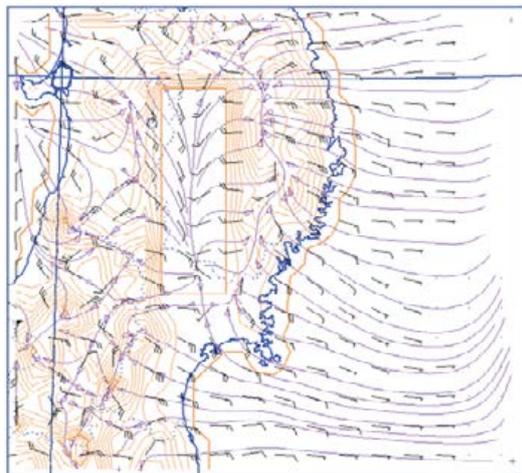
①島を作る



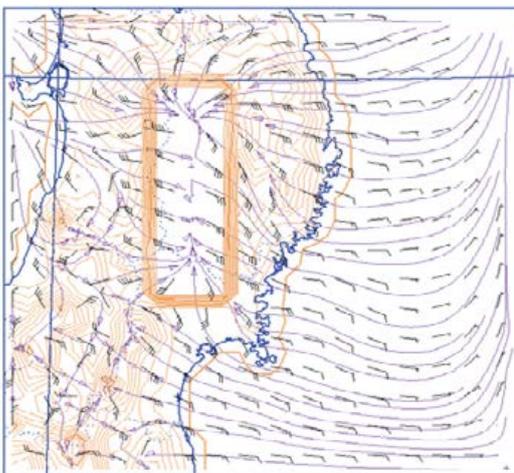
②奥羽山脈を切り取る



③湖を作る



④山を作る



⑤地形を平坦にする

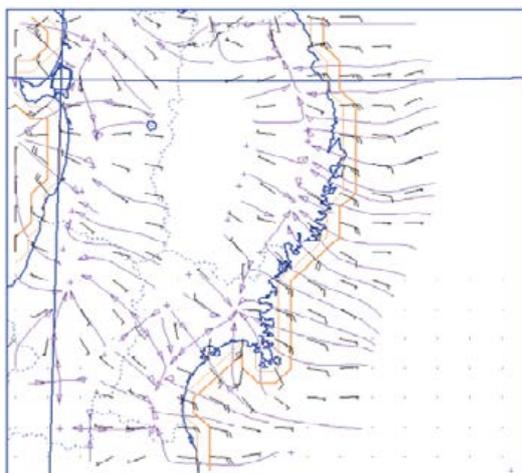


図 3-18 実験結果のまとめプリント

学習プリント

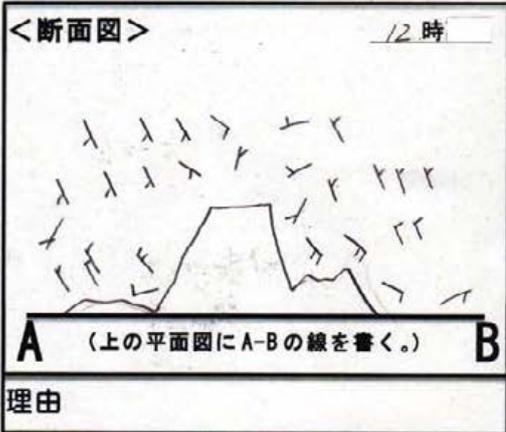
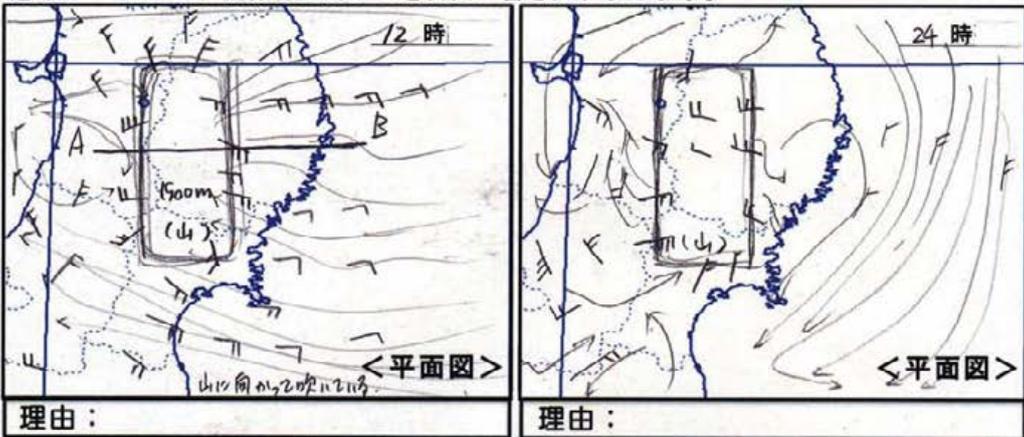
2年 D組 ■番 氏名 ■■■■■

課題

数値実験を行い、海陸風が地形によってどのように変化するか考えよう。

自分たちの班のミッションは… 山を作る

結果 …図には、流線や風向などを自由に書き入れましょう。



結果から分かったこと

山から海。(24時)

山の方の風が強い。

考察・まとめ

山がどこにあるか、谷間によって風の向きが変わる。
また、地形が変わることにより風の強さが変化する。

図3-19 生徒が記入した学習プリント

3. 1. 7 実験結果に対する生徒の結果と考察（まとめ）

生徒たちは、地形を編集する5つのミッションにそれぞれ取り組み、実験結果を得た。そして、その実験結果になる原因について考察した。現在の地形における結果を示した後、生徒がプリントに記入した考察の一部を、実験ごとにそれぞれ示す。なお、表示する結果は初期時刻から720分後の、昼の12時の結果のみを示す。

①現在の地形

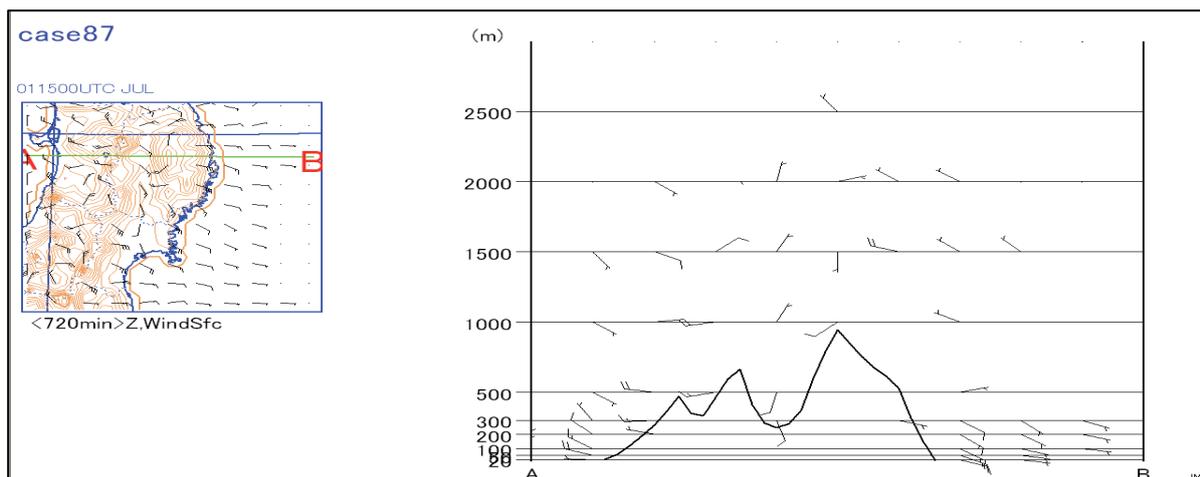


図3-20 現在の地形におけるシミュレーション結果

日本列島に向かって海風が吹いているのが確認できる。1500 m 上空では風向きが反対になっており、海陸風が循環している様子が見られる。また、奥羽山脈付近では、山があるところで、上昇気流が発生しているのが確認できる。

①「太平洋に島を作る」ミッションの結果と生徒の考察

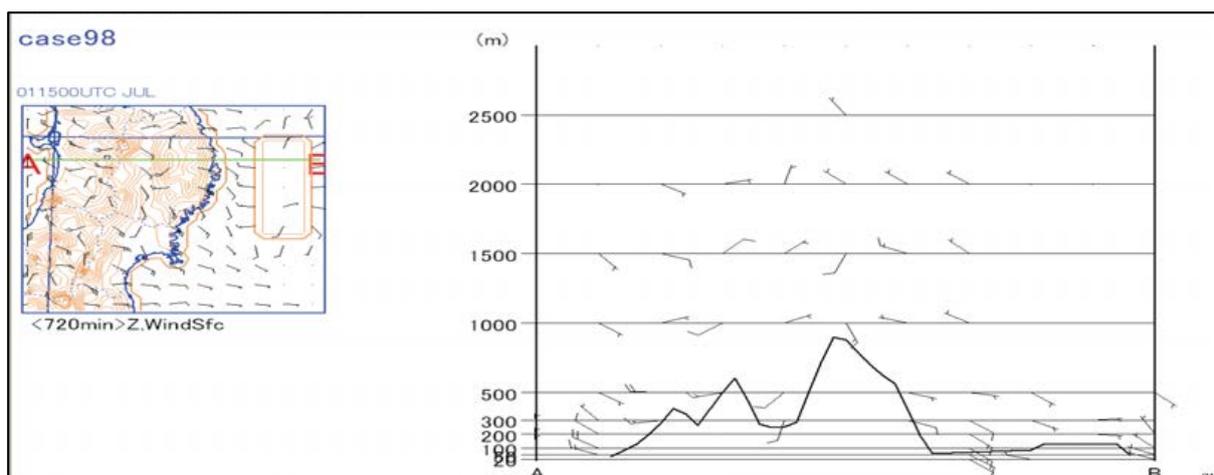


図3-21 太平洋に島を作った実験結果

平面図を見ると、日本列島に海風が吹いているときに、新たに作った島に向かって海風が吹いている様子がわかる。断面図を見ると、新しい島の上空には矢羽根が

表示されていないが、日本列島はそのままの地形であるため、海陸風が循環している様子を見ることができる。

- ・生徒の考察

海からの風は暖かい陸地、そして標高の高い方向へ向かう。そのため、島や山をつくとその方向に風が向かっていく。

②「奥羽山脈を切り取る」ミッションの結果と生徒の考察

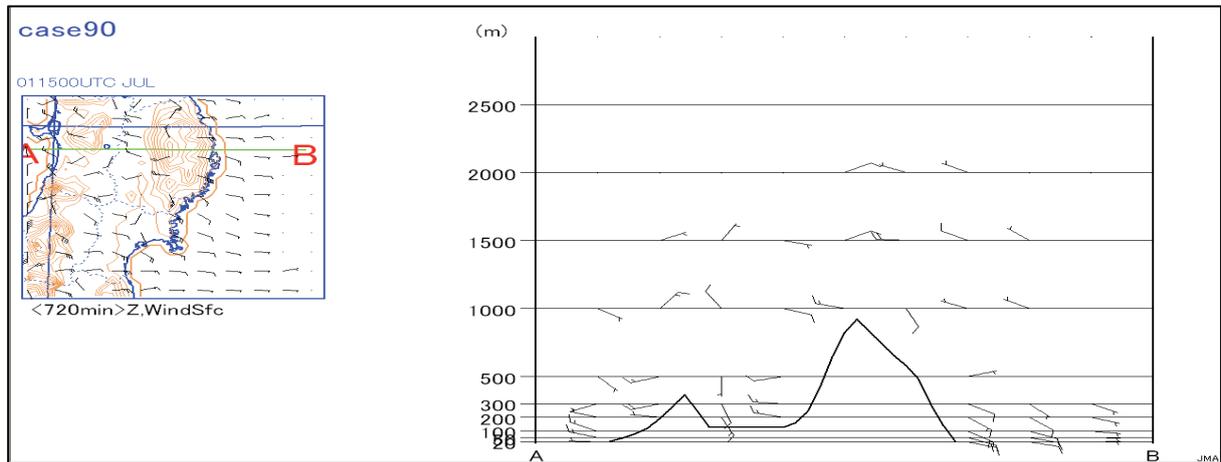


図 3-22 奥羽山脈を切り取った実験結果

奥羽山脈を切り取ると、他の山に向かって吹く風（矢羽根）が確認できる。また、宮城の松島湾や石巻湾から流入した海風が、奥羽山脈がなくなったところに流れていく様子も確認できる。

- ・生徒の考察

奥羽山脈がないと、その周りの山々に向かって風が吹いていた。また、山に風がぶつからないので風向が変わる。でも、他のところの風向は変わらなかった。

③「岩手県に湖を作る」ミッションの結果と生徒の考察

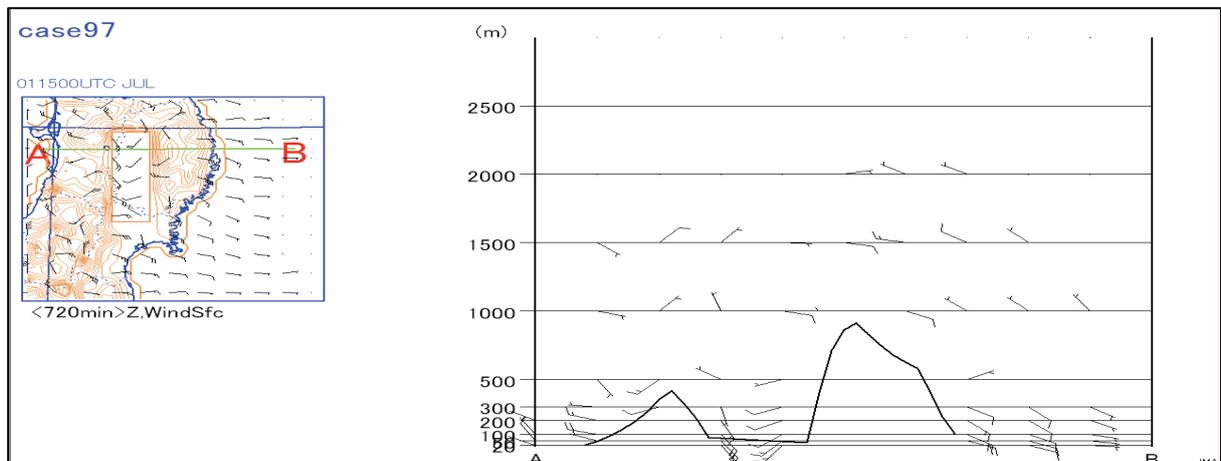


図 3-23 岩手県に湖を作った実験結果

平面図を見ると、湖と陸の温度差によって発生する湖陸風が吹いているのが確認できる。断面図では、湖や海から吹いてきた風が山の斜面方向に吹いていく様子も確認できる。

・生徒の考察

条件により地上の風向や風力などは変化するが、海風が土地へ吹くのは同じである。また、湖があると湖（水）から風が吹く。海陸風は、陸と水の温度差が関係している。

④「岩手県に山を作る」ミッションの結果と生徒の考察

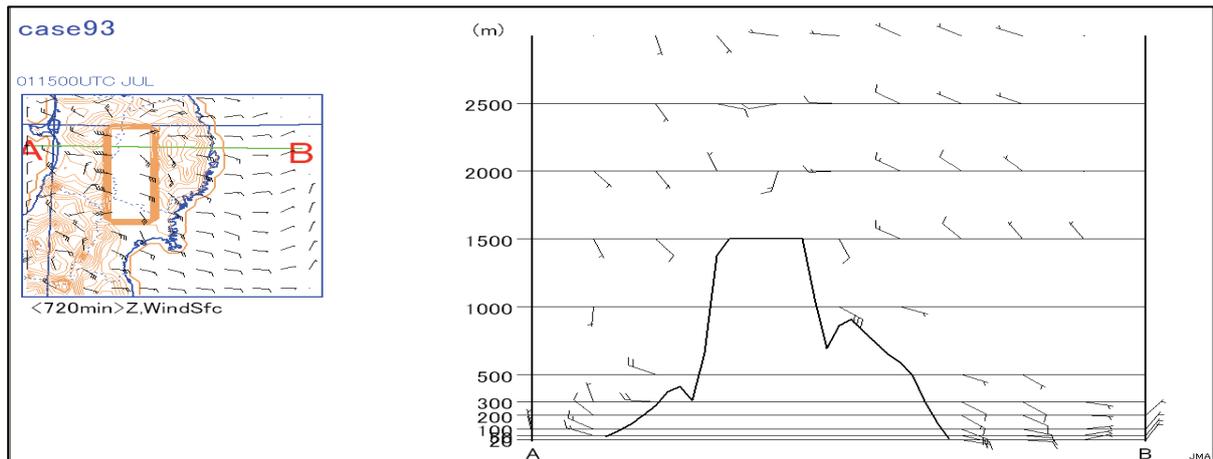


図 3-24 岩手県に山を作った実験結果

平面図を見ると、山に向かって風が強くなっているのがわかる。標高が高い山を作ることによって強い上昇気流が発生し、風力が大きくなったのだと考える。海陸風循環が起こる標高約 1500 m の山を作ったが、元の地形と同様に陸風が吹いている。

・生徒の考察

山を作ると山の方に向かって風が吹く。また、山にぶつかって風の向きがバラバラになる。山の近くで風力が強くなり、上昇気流が発生する。

⑤「東北地方の地形を平坦にする」ミッションの結果と生徒の考察

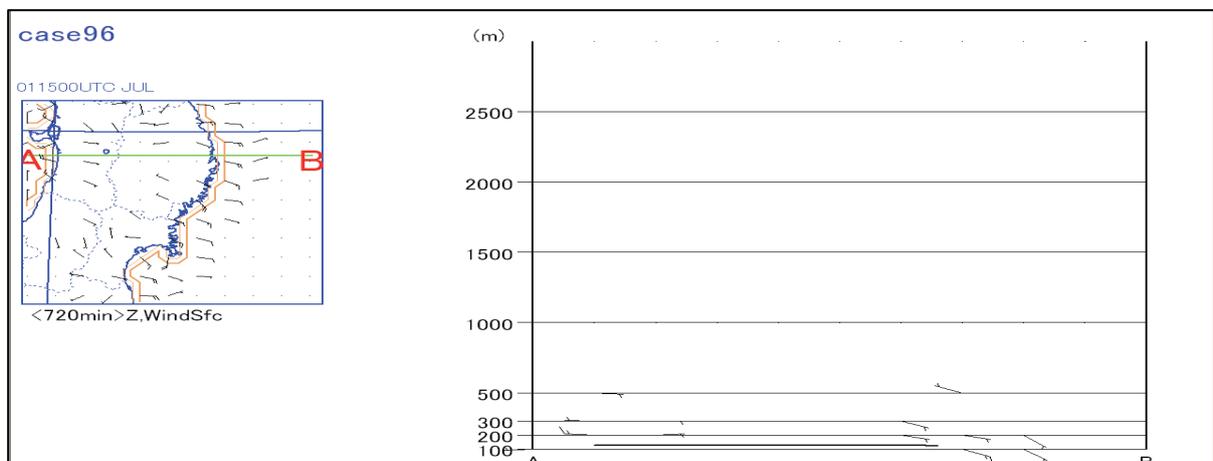


図 3-25 東北地方の地形を平坦にした実験結果

平面図から、日本海側からも太平洋側からも海風が吹いているのが確認できる。内陸部でほとんど風が吹いていないことから、山などがいないため上昇気流が発生しなかったのだと考えられる。また、陸の標高が 124 m と低かったことから陸が温まりにくかったため、風がほとんど吹いていなかったのだと考えられる。

・生徒の考察

さえぎられるものがなくなり、風が吹かなくなることがある。また、中央の風がほとんどふいていなかった。山とかがないから上昇気流が発生しない。

以上のように、現在の地形との違いに着目し、海陸風（海風）がどのような条件を満たせば吹くのかについて考察できていた。また、海陸風循環の仕組みを理解する上で必要となる「上昇気流」というキーワードを、④の山を作る実験、⑤の地形を平坦にする実験をした生徒が考察で述べていた。さらに、③の湖を作る実験をした生徒の記述には、「陸と水があると温度差によって海陸風が吹く」などといった内容が書かれていた。このことから、陸地に湖を作ることによって、海陸風が起こる原因である水と陸の温度差に着目することができるのだと考える。つまり、生徒が海陸風に関して考察しやすいのは、新たに海（湖）と陸が接するような地形を作る実験であり、それに伴って理解を深めることができると考えられる。

3. 2 プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察

3. 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海陸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。

3. 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。16 問は、数値実験や海陸風に関する問題を出題し、残り 4 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 3-3、表 3-4 の通りである。プレテストとポストテストで問うている内容はどちらも同じであるが、問題文の言葉を部分的に替えることで、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、1・3・4・5・7・8・13・15・16・17・19・20 の計 12 問である。

番号に網かけをしているものは、今回の授業に関係する問題である。プレテスト・ポストテストの設問 3 は、授業に関係している項目であるが、生徒に配布したポストテストの設問 3 の問題文が間違っていたため、設問 3 は除いている（網かけをしていない）。

表 3-3 プレテスト

	問題
1	前線には、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寒冷前線や、暖気が寒気の上にはい上がり、寒気をおしやりながら進んでいく温暖前線などがある。
2	海陸風は、季節風とよく似た現象で、風向が日変化する。
3	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風である。
4	海陸風の風向や風速は、周囲の地形が変化しても変わらない。
5	海陸風が起こる原因は、海が温まりにくく、陸が温まりやすいということによる、海陸の温度差である。
6	冬はシベリア高気圧が成長し、日本海側は乾燥した晴天、太平洋側は降雪が多い。
7	台風とは、熱帯地方で発生する低気圧（熱帯低気圧）があたたかい海上で発達したものである。
8	天気予報で使われている数値シミュレーションでは、初期値（最初に与える情報）が同じであれば、結果はすべて同じになる。
9	附属中学校で朝 9 時の気温を計ったところ、10℃でした。朝 11 時にもう一度気温を計ったところ、20℃でした。このとき、10 時の気温は 15℃である。
10	夜 10 時の気温を計ったところ、10℃でした。夜 11 時にもう一度気温を計ったところ、5℃でした。このとき、12 時の気温は 0℃である。
11	天気予報は、3 日先の天気よりも、明日の天気の方が当たる確率が高い。
12	気象庁では、天気予報の他にも台風や竜巻などの災害情報や過去の気象データも HP などで発信している。
13	地上では、アメダスなどの気象観測ネットワークが設置されているが、海上では測器を設置することが不可能なので、海上の気象データは得られない。
14	天気予報を作成するためには、様々な気象観測データが必要である。
15	気象の状態は、ニュートンが見つけた方程式を 1 つ解くことで推測することができる。
16	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である。
17	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。
18	気象のコンピュータシミュレーションでは、気象現象を再現することはもとより、どのような初期条件でシミュレーションしても同じような結果が得られる。
19	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）間隔が大きい方が、精度の良い結果が得られる。
20	空気は、膨張すると温度が上がり、収縮すると温度は下がる。

表 3-4 ポストテスト

	問題
1	前線には、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温暖前線や、暖気が寒気の上にはい上がり、寒気をおしやりながら進んでいく寒冷前線などがある。
2	海陸風は、季節風とよく似た現象で、風向が日変化する。
3	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	海陸風の風向や風速は、周囲の地形が変わると変化する。
5	海陸風が起こる原因は、陸が温まりにくく、海が温まりやすいということによる、海陸の温度差である。
6	冬はシベリア高気圧が成長し、日本海側は乾燥した晴天、太平洋側は降雪が多い。
7	台風とは、熱帯地方で発生する高気圧（熱帯高気圧）があたたかい海上で発達したものである。
8	天気予報で使われている数値シミュレーションでは、初期値（最初に与える情報）が同じであれば、結果はすべて同じになるとは限らない。
9	附属中学校で朝 9 時の気温を計ったところ、10℃でした。朝 11 時にもう一度気温を計ったところ、20℃でした。このとき、10 時の気温は 15℃である。
10	夜 10 時の気温を計ったところ、10℃でした。夜 11 時にもう一度気温を計ったところ、5℃でした。このとき、12 時の気温は 0℃である。
11	天気予報は、3 日先の天気よりも、明日の天気の方が当たる確率が高い。
12	気象庁では、天気予報の他にも台風や竜巻などの災害情報や過去の気象データも HP などで発信している。
13	気象観測データは、観測測器がない場所でもシミュレーションなどを用いることによって、データを得ることができる。
14	天気予報を作成するためには、様々な気象観測データが必要である。
15	気象の状態は、様々な気象要素を含む方程式系を解くことで推測することができる。
16	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である。
17	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。
18	気象のコンピュータシミュレーションでは、気象現象を再現することはもとより、どのような初期条件でシミュレーションしても同じような結果が得られる。
19	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）間隔が小さい方が、精度の良い結果が得られる。
20	空気は、膨張すると温度が下がり、収縮すると温度は上がる。

3. 2. 2 テスト結果

プレテスト・ポストテストの各クラスの授業に関する項目は、設問3を除くと15項目になる。その15項目の平均点は、表3-5の通りである。

表3-5 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）
A組（n=37）	12.4	12.2
B組（n=31）	11.0	12.2
C組（n=39）	12.2	12.5
D組（n=39）	12.9	12.2

プレテストの結果を見ると、B組の平均点が他の組よりも1.0点以上低い結果となった。平均点の結果を見ると、他の組と大きな差があるように見えるが、統計的に有意な差があるのかを確かめるため、統計分析を行うことにした(3. 2. 3参照)。

ポストテストの結果は、ほぼ同じくらいの結果となった。

一方、授業前から授業後に平均点が上がったのはB組とC組であり、A組とD組は平均点が下がるという結果となった。

3. 2. 3 授業前の理解度に関する検証

授業を行う前の数値実験や海陸風に関する理解度（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検定をした。

表3-6 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B組	あり	<u>2.71</u>	2.00	8.57E-3
		$2.00 < \underline{2.71}$		$8.57E-3 < 0.05$
A組とC組	なし	<u>0.52</u>	1.99	0.606
		$0.52 < 1.99$		$0.05 < 0.606$
A組とD組	なし	<u>-1.21</u>	1.99	0.230
		$ \underline{1.21} < 1.99$		$0.05 < 0.230$
B組とC組	あり	<u>-2.37</u>	2.00	0.0205
		$2.00 < \underline{2.37} $		$0.0205 < 0.05$
B組とD組	あり	<u>-4.12</u>	2.00	1.04E-4
		$2.00 < \underline{4.12} $		$1.04E-4 < 0.05$

C組とD組	なし	<u>-1.86</u>	1.99	0.0671
		<u> -1.86 < 1.99</u>		0.05 < 0.0671

以上の結果より、B組は統計的に他のクラスより正答率が低いことがわかった。また、A組・C組・D組には有意差がないことが統計的に明らかとなった。

3. 2. 4 授業前後の理解度に関する検証

今回の授業内容の大きな柱となっている、数値実験に関する理解と海陸風（循環）の理解に有意差があるのかを明らかにするため、危険率5%（信頼度95%）でt検定を実施した。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3-7 授業前後の理解度の検証

クラス	有意差	t 値	t 値境界値(0.95)	P 値 (両側確率)
A組 (n=37)	なし	<u>0.602</u>	1.69	0.276
		<u>0.602 < 1.69</u>		0.05 < 0.276
B組 (n=31)	なし	<u>-2.41</u>	1.70	0.989
		<u>-2.41 < 1.70</u>		0.05 < 0.989
C組 (n=31)	なし	<u>-1.02</u>	1.69	0.843
		<u>-1.02 < 1.69</u>		0.05 < 0.843
D組 (n=39)	あり (負)	<u>2.43</u>	1.69	0.00997
		<u>1.69 < 2.43</u>		0.00997 < 0.05
全クラス (n=146)	なし	<u>-0.103</u>	1.66	0.713
		<u>-0.103 < 1.69</u>		0.05 < 0.713

t 検定の結果、どのクラスにおいても授業前後に正の有意差がないという結果となった。また、全クラスを対象に検定をしても、授業前後の理解度に差はないという結果になった。一方D組は、授業前より平均点が下がり、負の有意差があることがわかり、授業を実施したことにより理解度が低下したという結果となった。

3. 2. 5 授業後の理解度の検証

授業前後に差がないという結果が得られたが、クラス間で授業後の理解度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 3-8 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)
A 組と B 組	なし	0.115	2.00	0.908
		$0.115 < 2.00$		$0.05 < 0.908$
A 組と C 組	なし	-0.867	1.99	0.388
		$ 0.867 < 1.99$		$0.05 < 0.388$
A 組と D 組	なし	0.0306	1.99	0.976
		$ 0.0306 < 1.99$		$0.05 < 0.976$
B 組と C 組	なし	-0.853	2.00	0.397
		$ 0.853 < 2.00$		$0.05 < 0.397$
B 組と D 組	なし	-1.01	2.00	0.920
		$ 1.01 < 2.00$		$0.05 < 0.920$
C 組と D 組	なし	1.01	1.99	0.317
		$1.01 < 1.99$		$0.05 < 0.317$

以上の結果より、授業後はどのクラスとも有意差がないという結果になった。授業前は、B 組のみどのクラスも理解度が低く、授業前後に理解度の差がなかったことから、どのクラスも授業前の B 組と同じくらいの理解度になってしまったということが明らかとなった。

3. 2. 6 授業前後の理解度に関する設問ごとの検証

15 項目の統計分析では、授業前後に有意差がないという結果となったが、A 組から D 組まで全ての授業内容が異なっており、特に設問 11・12・14 に関する内容（天気予報の精度や気象庁が発信している情報など）は、C 組と D 組は行っていない。15 項目全体だと授業前後に差がないという結果となったが、設問によっては有意差がある項目があるのではないかと考えた。

そこで、全クラス（n=146）を対象に、設問ごとに t 検定を行い、授業前後に正の有意差がある内容を検証することにした。

表 3-9 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 (両側確率)
2.海陸風の日変化について	あり	-2.22	1.98	0.0282
		$1.97 < -2.22 $		$0.0282 < 0.05$

4.地形による海陸風の変化について	なし	<u>-1.57</u>	1.98	0.117
		$-1.57 < 1.98$		$0.05 < 0.117$
5.海陸風が起こる原因について	あり (負)	<u>7.64</u>	1.98	2.67E-12
		$1.98 < 7.64$		$2.67E-12 < 0.05$
8.数値実験の不安定について	あり (負)	<u>2.65</u>	1.98	0.00898
		$1.98 < 2.65$		$0.00898 < 0.05$
9.気温上昇に伴う将来の気温の求め方	あり (負)	<u>3.14</u>	1.98	0.00202
		$1.98 < 3.14$		$0.00202 < 0.05$
10.気温低下に伴う将来の温度の求め方	なし	<u>1.89</u>	1.98	0.0603
		$1.89 < 1.98$		$0.05 < 0.0603$
11.天気予報の精度について	なし	<u>-1.06</u>	1.98	0.290
		$-1.06 < 1.98$		$0.05 < 0.290$
12.気象庁が発信している情報について	なし	<u>-0.257</u>	1.98	0.797
		$-0.257 < 1.98$		$0.05 < 0.797$
13.気象観測データの取得について	なし	<u>1.88</u>	1.98	0.0628
		$1.88 < 1.98$		$0.05 < 0.0628$
14.観測データの重要性について	なし	<u>1.29</u>	1.98	0.198
		$1.29 < 1.98$		$0.05 < 0.198$
15.気象状態の求め方について	あり	<u>-5.86</u>	1.98	3.05E-8
		$1.98 < -5.86 $		$3.05E-8 < 0.05$
16.天気予報が作成される仕組みについて	あり	<u>-2.65</u>	1.98	0.00898
		$-2.65 < 1.98$		$0.00898 < 0.05$
17.PCの処理能力について	なし	<u>1.07</u>	1.98	0.287
		$1.07 < 1.98$		$0.05 < 0.287$
18.数値実験の再現性について	なし	<u>0.744</u>	1.98	0.458
		$0.744 < 1.98$		$0.05 < 0.458$
19.数値実験の時間間隔や格子間隔について	あり	<u>-4.30</u>	1.98	3.11E-5
		$1.98 < -4.30 $		$3.11E-5 < 0.05$

以上の結果から、15項目中4項目が授業前後で有意差があるということがわかった。今回の授業を通して、海陸風の日変化や気象状態の求め方（計算によって天気の状態を求められるということ）、数値実験の時間間隔・格子間隔については理解することができたと言える。

3. 2. 7 考察

今回の授業は、途中で授業内容が変更になり、プレテスト・ポストテストで出題した内容の全てを、全クラスで行うことができなかった。そのため、全項目対象の t 検定では有意差がないという結果になってしまった。しかし、設問ごとに t 検定を行うと、4項目は有意差があるという結果が得られた。このことから、生徒は授業を通じて全く理解が深まらなかったのではなく、授業の目的としていた数値実験のしくみ（数値実験によって気象を求める原理）や海陸風が日変化していることなどを理解することができたのだと考える。

一方、クラスごとの初期条件を検証したところ、B組が他のクラスと比べて負の有意差があった。そこで、B組の授業後に有意差が認められるほど理解が深まっていれば、ボトムアップを図れる授業だと言えるのではないかと仮定した。しかし、授業前後でB組に有意差は認められず、他のクラスも有意差が認められなかったため、仮定を検証することはできなかった。

様々な統計分析を行い、授業前後に有意差があるかどうかを検証してきたが、そもそもプレテストの平均点（表3-5参照）はB組以外12点以上で、すでに数値実験や海陸風に関する理解度が高く、そこから点数を上げるのは難しかったのだと考える。また、もともと点数の高かったA組とD組の平均点は上げることができなかったが、しかし、そのような中でもB組とC組の平均点を上げることができた。特に、プレテストで平均点が11点だったB組が、ポストテストでは12点以上となった。統計的に有意な差はなかったものの、理解を深めることができたと考える。

3. 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。

3. 3. 1 アンケート内容

5段階評価アンケートの内容は、表3-10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3-10 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	天気予報が作成される手順は理解できましたか？	仕組理解
5	観測データ（初期値）の重要性を感じましたか？	観測大事
6	気象庁の役割や必要性が十分にあると思いましたか？	存在必要
7	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
8	シミュレーションの設定（初期値設定）の入力操作は簡単でしたか？	設定操作
9	学習プリントやマニュアルなどの補助プリントは、学習内容を理解するのに役立ちましたか？	教材役立
10	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
11	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
12	多画面平面図（計算結果）の操作は簡単でしたか？	結果操作
13	電子黒板での説明はわかりやすかったですか？	説明理解
14	様々な数値シミュレーションをもっとやってみたいと思いましたか？	予報興味
15	授業を通して、海陸風（循環）の理解は深まりましたか？	現象理解
16	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

3. 3. 2 アンケート結果

表3-10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3-26）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3-27）を以下に示す。5段階回答率のグラフ（図3-27）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。

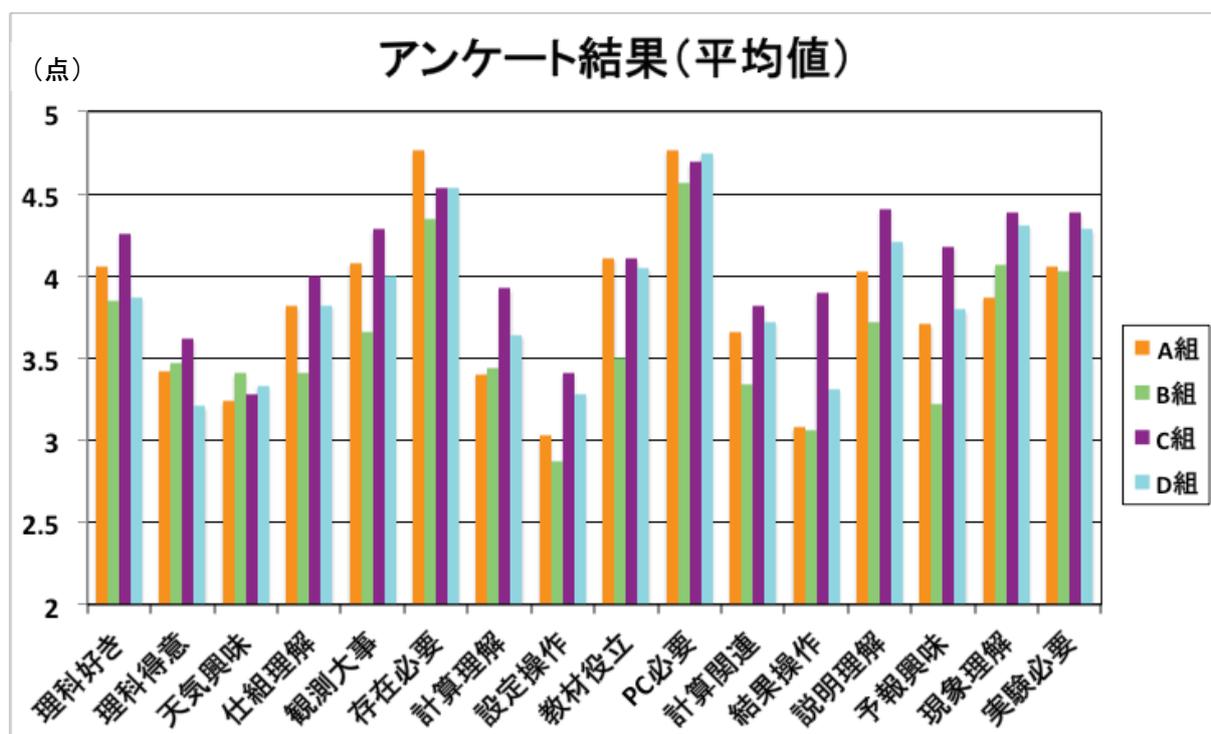


図3-26 全クラス平均値（A組 n=38、B組：n=31、C組：n=39、D組：n=39）

平均値のグラフを見ると、全体的にC組の平均値が高く、B組の平均値が低いことがわかる。1日目の後半に実践をしたB組の授業は、A組での授業を修正したばかりの内容であったため、私の説明不足などにより理解を深めることができなかつたのだと考える。

項目ごとの平均値を見ると、「現象理解」や「実験必要」の項目で、1日目に授業をしたA組・B組よりも、C組・D組の方が、肯定的な回答をしている。また、「設定操作」の項目に関しても、1日目に授業をしたA組・B組よりも、C組・D組の方が、肯定的な回答をしている割合が多いことから、教材（3. 1. 4参照）を改善することによって設定しやすくなったことがわかった。

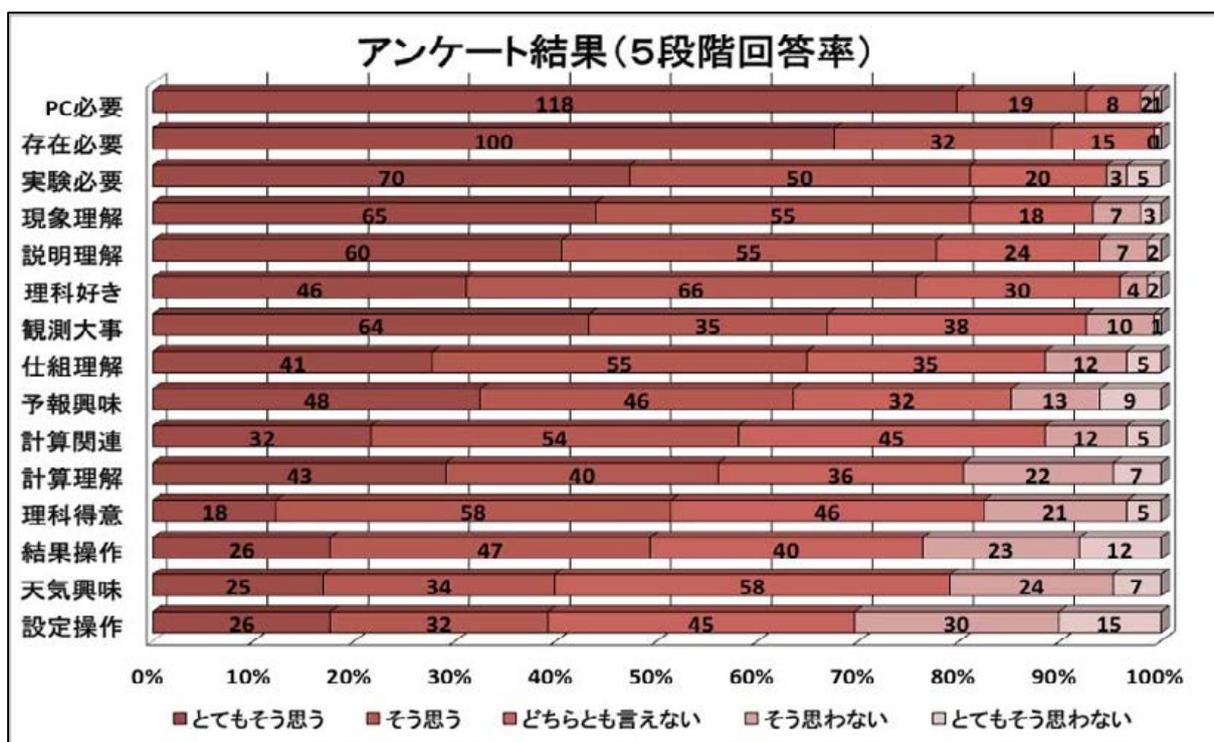


図 3-27 5 段階回答率 (全クラス : n=148)

5 段階解答率のグラフを見ると、生徒たちは、理科は好きであるが、天気に興味があまりない生徒が多いことがわかる。このような傾向のある生徒の 8 割が、「現象理解」と「実験必要」の項目に対して肯定的な回答を選択していた。このことから、生徒は、数値実験をする必要性を感じただけではなく、今回の授業の目的である海陸風循環の理解を深められたことが明らかとなった。

3. 3. 3 CS 分析結果・考察

アンケート結果から、生徒が海陸風循環について理解できたことが分かった。さらに海陸風循環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、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。

分析結果から求めた、クラスごとの改善度グラフ (図 3-28~図 3-31) を示すと共に、相関が強く改善度の高い項目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 3-32) から読み取れることや考えられることを述べていく。

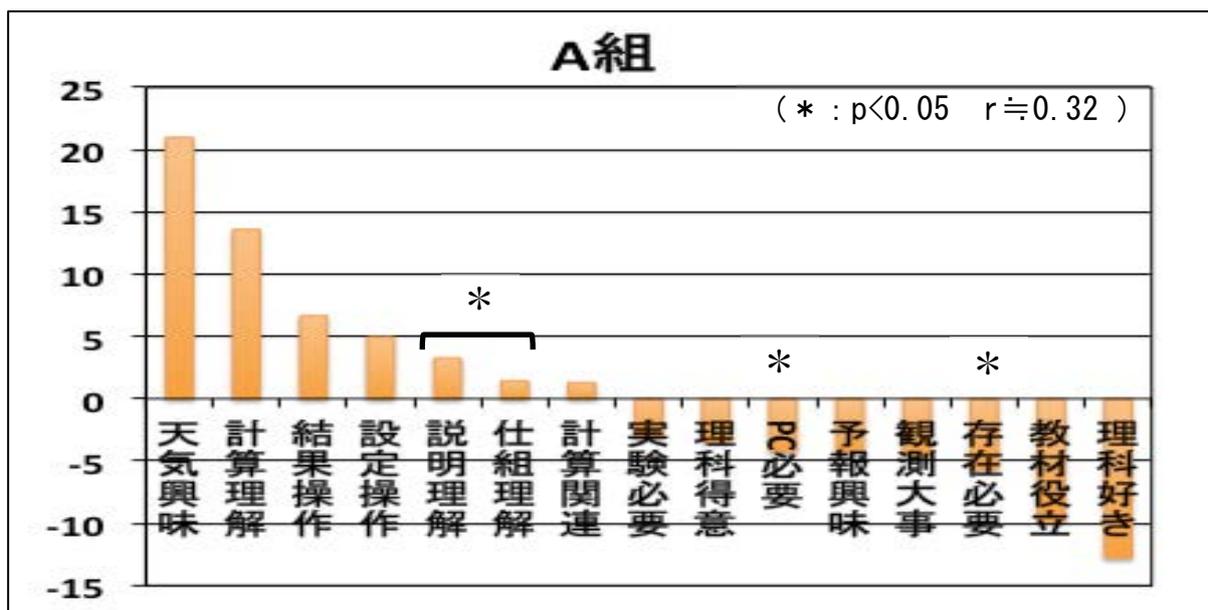


図3-28 A組改善度グラフ (n=38)

「説明理解」「仕組理解」の改善度が高い結果となったのは、導入の時間が長かったため、数値実験（の原理）に関する説明を省略する部分があり、生徒が納得できるような説明をすることができなかつたからであると考える。

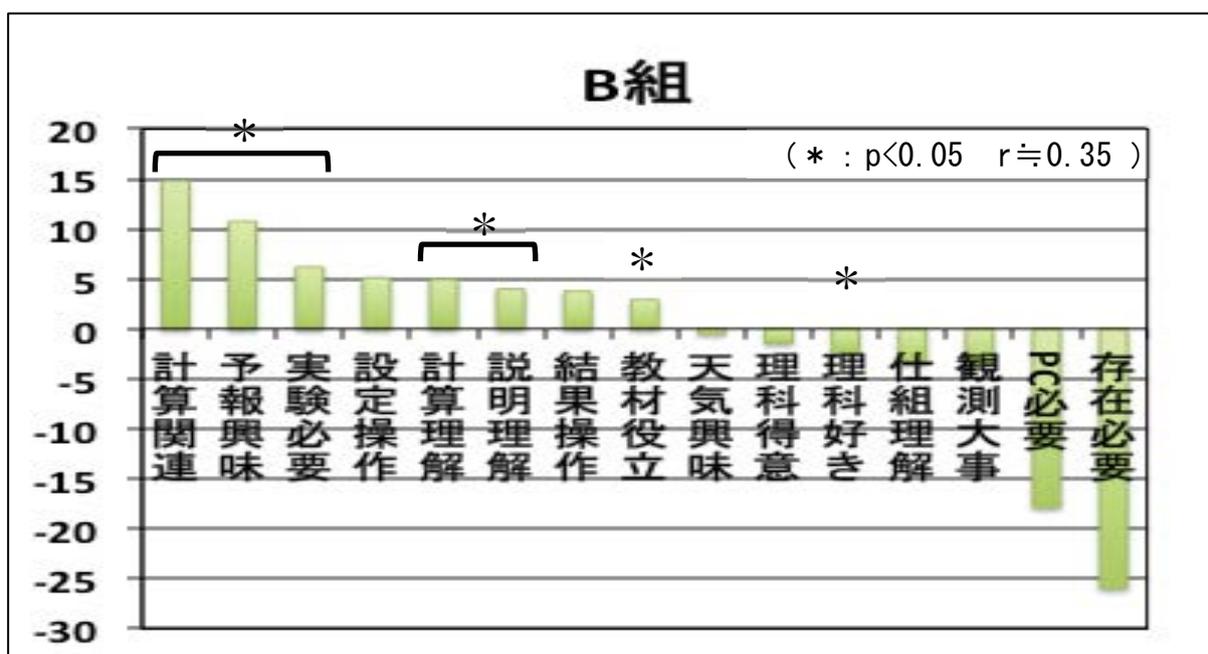


図3-29 B組改善度グラフ (n=31)

計算に関する項目が主に改善度が高くなっている。計算の意味を理解させるような説明をすることができなかつたため、それに伴って計算がシミュレーションに関連しているということを実感することができなかつたのだと考える。

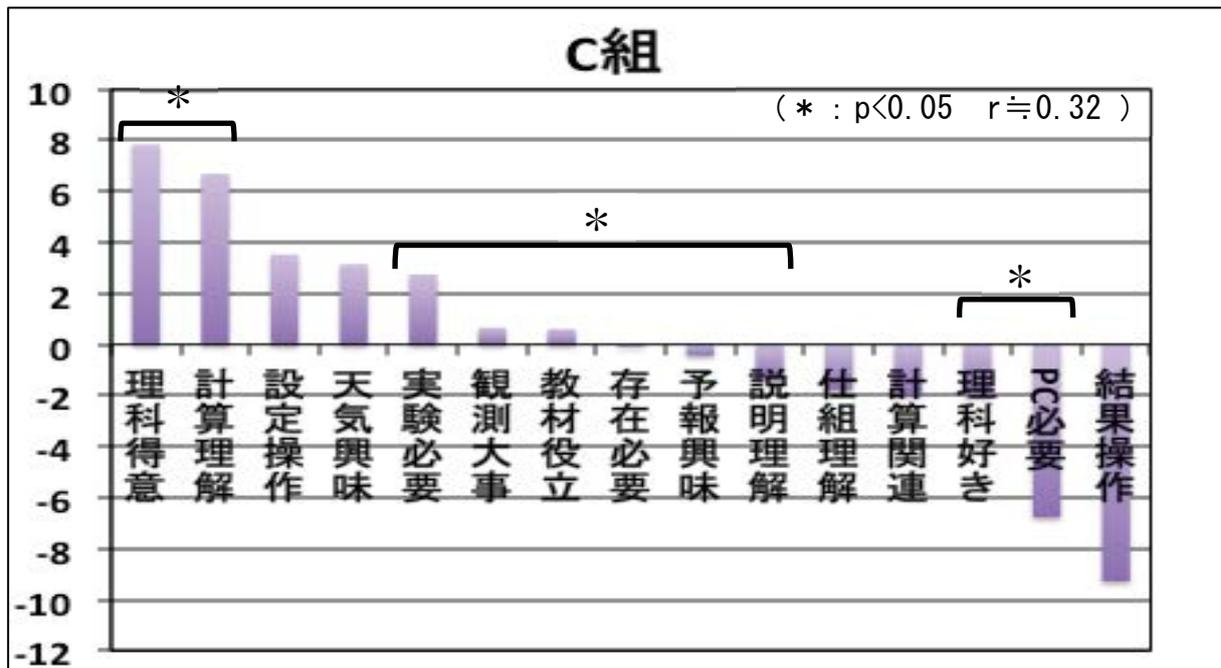


図 3-30 C 組改善度グラフ (n=39)

「計算理解」の改善度が高くなった原因として、計算グループと条件設定グループに分かれて作業を行ったため、計算を実際に行っていない生徒が特に移流方程式の計算の意味を理解することができなかったのだと考える。

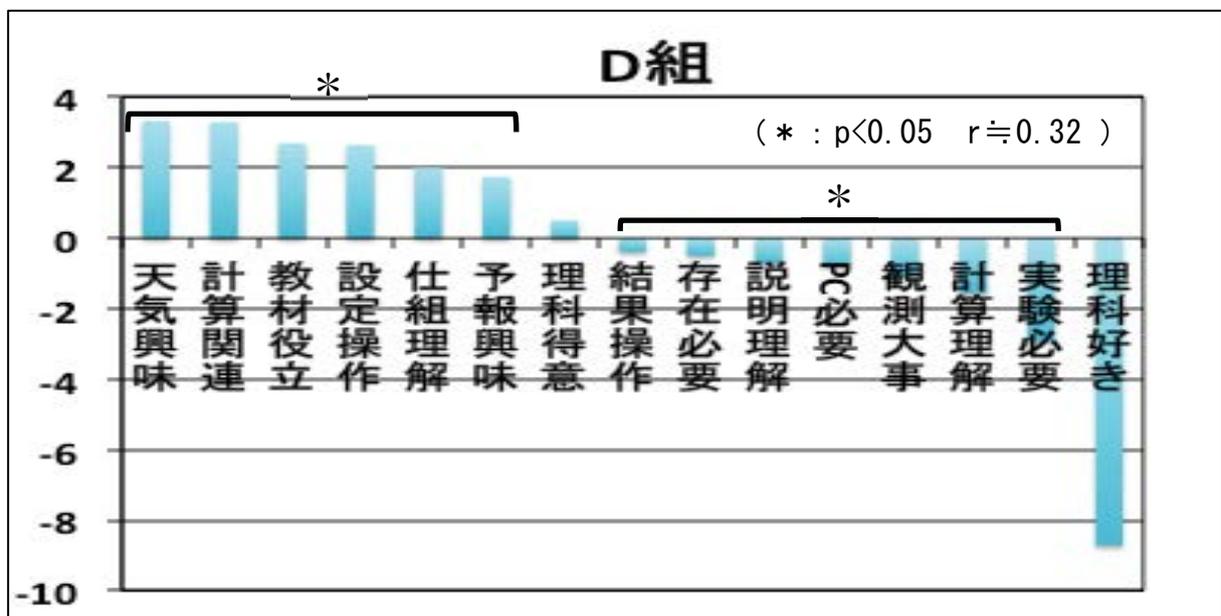


図 3-31 D 組改善度グラフ (n=39)

C 組の考察と同様、計算を実際にした生徒としていない生徒で理解度に差が出てしまったものとする。一方、「設定操作」「教材役立」の改善度が高いことから、条件設定を行いやしくするための教材が必要であったのだと考えられる。

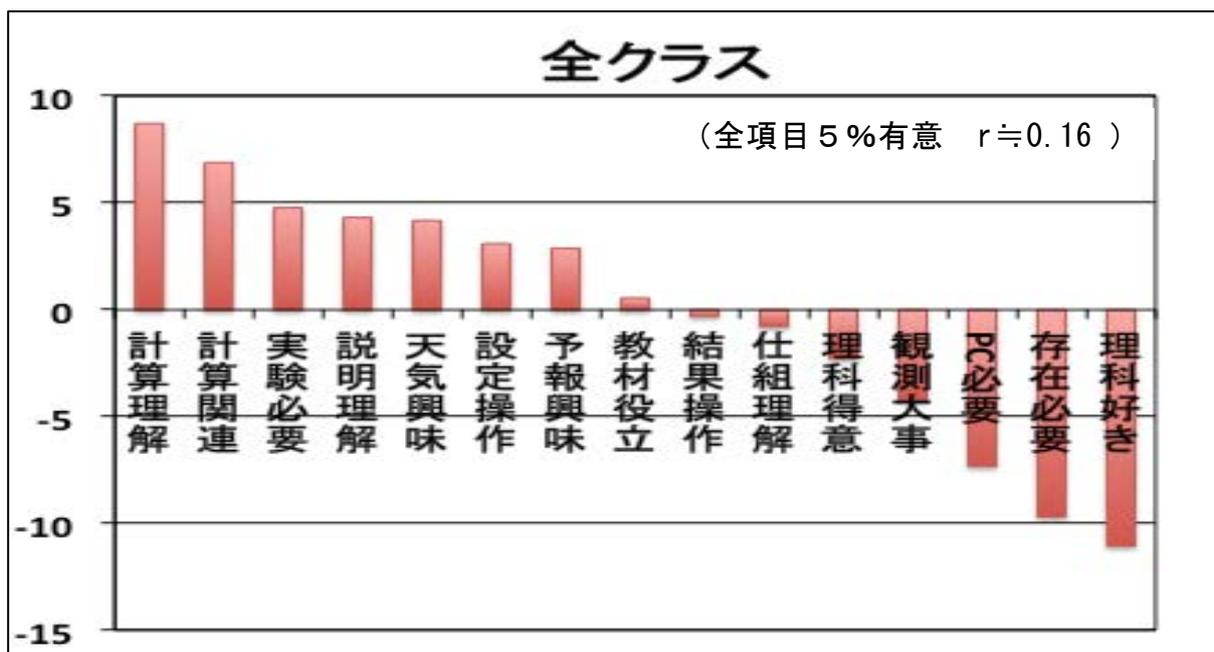


図 3-32 全クラス改善度グラフ (n=148)

全クラス対象の改善度グラフを見ると、「計算理解」「計算関連」といった計算に関する項目の改善度が高くなっている。全体的に計算を最後まで解いた生徒が少なかったことや、計算を実際にしても解き方を理解するのに時間がかかってしまい、「解けなかった」という思いが強くなってしまったことが改善度の高い原因であると考え。今回の授業のように、移流方程式を手計算で解くことによって数値実験の仕組みを理解させるには、計算の意味や計算の方法を理解しない限り、計算とシミュレーションの関連を理解することはできないため、まずは計算をしやすくする工夫が必要であると考え。また、「説明理解」の改善度も高いことから、授業の1つ1つの内容に対して生徒が理解しやすいような説明をし、終始意欲的に授業に参加できるようにしていく必要があるのだと考える。

一方、PC や気象庁の必要性に関する改善度が低いことから、計算が難しかったからこそ、PC のありがたみを実感することができたのだと考える。C 組・D 組でほとんど取り上げなかった、観測データの重要性や天気予報が作成される手順に関しては、海陸風循環の理解を深めるための重要度がそれほど高くないため、改善度が低い結果となったのだと考えられる。

3. 3. 4 自由記述アンケートの分析方法

授業後のアンケートには、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把握できなかったことを明らかにする

ため、記述分析を行うことにした。記述分析は、KH Coder という、テキスト型（文章型）データを統計的に分析するためのフリーソフトウェアを用いた。具体的な分析方法は、以下に示す。

【記述分析の手順】

- ①記述内容をテキストファイル（.txt）として保存する。
- ②KH Coder を開く。（事前にインストールしておく。）
- ③「プロジェクト」から「新規」を選択し、分析対象ファイルを「参照」から選択する。分析対象ファイルとは、①で作成したファイルである。
- ④「前処理」から「前処理の実行」を選択する。
- ⑤「ツール」→「抽出語」→「抽出語リスト」を選択し、記述されている単語の数を算出する。（csv ファイルもしくは Excel ファイルで保存することができる。）
- ⑥動詞や形容詞で多く出現していた単語が、どのような文脈で出てくるのかを把握するため、「KWIC コンコーダンス」の画面下にある「集計」を選択する。
- ⑦⑥の結果を参考に、自分で分類コードを作成する（表 3-11 参照）。
- ⑧元データを⑦で分類したコードに分けていく。

表 3-11 記述分類コード

1.授業での説明がわかりやすかった	12.数値実験を行う必要性・重要性が分かった
2.教材が理解の役に立った	13.数値実験が楽しかった・面白かった
3.授業内容が分かった・理解できた	14.数値実験や数値実験の結果が分かった
4.授業内容が楽しかった・面白かった	15.数値実験に対する意欲がわいた
5.授業を通して理科・気象の興味が高まった	16.数値実験や実験操作が難しかった
6.授業内容が今後の役に立つと思った	17.PC の重要性・必要性が分かった
7.授業内容が難しかった・分からなかった	18.気象に関する理解が深まった
8.移流方程式の計算の意味が分かった・理解できた	19.海陸風（循環）の理解が深まった
9.移流方程式の計算が楽しかった	20.天気予報を作成する方法が分かった
10.移流方程式の計算を解くことができた	21.天気予報を作成する大変さが分かった
11.移流方程式の計算が難しかった・大変だった	22.気象庁の仕事がすごいと思った

3. 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 3-12 に示す。

表 3-12 自由記述アンケート結果

記述内容	分類 コード
A 組	
内容がわかりにくく、今僕たちが知るべき内容なのか疑問に感じた。また、シミュレーションの様々な設定の意味が分からなかった。そして、考えて行うということが少なかった気がした。	7、16、 7
計算がとても難しく、パソコンなどの力も必要になっているのでパソコンの性能が上がるほど天気もしっかり分かるのだと思いました。	11、17
なぜか計算していたものまで消えてしまって大変だった。しかし、スーパーコンピュータの必要性がよくわかりました。また、地形を作るというのが楽しかったです。	11、 17、13
難しく大変だった。	7
とてもわかりやすい授業で良かったと思います。	3
プログラムをうつのは大変でしたが、地形の違いによる風の変化を見ることができました。なかなかできない良い経験をすることができました。	16、6
失敗もあったが、シミュレーションなどでいろいろなことができるようになった。	3
今回の授業では、その地点の気象を知るためには膨大なデータが必要だということが分かった。また、様々な方程式も解かなければいけないので、大変だと思った。	3、12
少し難しい内容ではあったが、それほど天気を予想するのは大変であり、現代のコンピュータが求められるのは、性能がいいのもあるのだと思った。	7、17
最初、大学で学ぶような方程式を見てマジかって思って、これは解けないと思っていたけど、意外と代入したりすると解けることが分かりました。	10
天気予報をするには、とても工夫することが必要だということが分かりました。	21
とっても分かりやすくて入力などがしっかりできた。	1
数値計算はコンピュータを使わないと難しいと思いますが、それでも今回のような計算の結果、予測できるのだと思いました。	12
内容は少し難しいと思いましたが、様々な方法で勉強していったのでとても新鮮な授業でした。特に PC を使ったシミュレーションは面白かったです。しかし、授業でいったい何を学んだのかが少し見えにくいとも思ったので、明確な授業の方向と結論をまとめてくだされば、素晴らしい授業になったのではと思いました。	6、13、 7

かなり計算が難しかった。	11
今回の授業では、天気についてよく理解することができました。また、いろいろなことも同時に知ることができました。これからはその日の天気を調べて学校に行きたいと思いました。	18、3、5
分かりやすかった。	3
授業の課題であった、海陸風についての理解を様々な作業をやって理解することができました。また、計算をやってみて、PCの必要性が分かりました。	19、17
私は最初にやった 10 秒間の温度を求めるのが面白かったです。班の人と協力して 2 人で分担して計算しても、結構時間がかかったので、それをものすごい速さで行うことができるコンピュータはすごいと思いました。	9、17
計算がとても難しかったです。しかし、作成される手順などは、プリントやマニュアルを見て理解できたのでとても役立ちました。	11、2
計算、コンピュータが難しかった。	11、16
PC や電卓を使った授業で、とても分かりやすく、面白い授業でした。	3、4
もともと天気の内容が苦手で、計算からやっていくのは少し難しかったけど、日頃よく見る天気予報のでき方などがよくわかりました。電子黒板の内容がとても分かりやすかったし、これからもっと理解を深めようと思える楽しい授業でした。ありがとうございます！	9、20、1、5
今まではあまり天気予報を重要視していませんでしたが、計算の複雑さや仕組み、手間などがよくわかりました。また、とても難しい内容でしたが、電子黒板を使った説明や数値シミュレーションを通して、今まで以上に興味がわきました。	20、21、7、5
授業では難しい方程式で、できないときが多かったけど、これだけの計算が必要なのだとわかりました。そして、実験をしてみて、地形と海陸風についてもわかりました。	11、21、19
少し難しい内容のところもありましたが、コンピュータなどを使って楽しく学習ができました。数値シミュレーションが分かりやすかったです。ありがとうございました。	7、13、14
天気予報の情報を得るためには高い技術がたくさん必要なのだと初めてわかりました。方程式や初期値の存在も初めて知りました。正確なデータを求めることは大変なことを学びました。	20、21
パソコンの入力ミスがあり、うまくいかない時もありましたが、シミュレーションをして地形が変わると風向などが変わることが見られて楽しか	16、14

ったです。	
初めてのことばかりだったけど、数字の力に驚いた。とても楽しい2時間でした。	4
PCの操作や細かいところまで分かるように教えて下さって分かりやすかったです。	1
パソコンでの操作が難しかったです。でもすべての操作が終わって計算をコンピュータがしているときの速さがすごく速くて驚きました。	16、17
電子黒板での説明はとても分かりやすく静止画だけではなく動画も使われていてとても分かりやすかったです。また、スムーズな授業で、充実した授業となり楽しかったです。	1、6
今回の学習では、天気について学んでみて、天気を予報するためには何が必要か、数値実験を行う必要性を知ることができた。	20、12
授業では、実際にどのように気象観測をしているのかを知ることができたのでよかったです。また、コンピュータが計算しているところを見て、すごいなと思いました。	20、17
計算のところは理解できず難しかったけど、予報することの難しさ、大変さが分かりました。	11、21
朝に少し見るくらいだけど、とても生活に必要なのが天気予報です。予測するというのはどのようにしているのか全く想像が付きませんでした。様々な観測データから計算までしていると知って、大変そうだと実感しました。	21
初めてのことばかりでとても面白かった。日常ではなかなか体験できないことなので、貴重な経験ができてよかったです。また、シミュレーションではより分かりやすくなったので、あの方法でやってよかったと思う。	4、6、 14
B組	
少し難しかったんですけど、「気象庁はこんなに大変な仕事をしているんだ」とびっくりしました。海陸風循環についても、循環だと初めて知りました。	22、19
難しかったです。コンピュータの便利さを実感しました。	7、17
パソコンを使い、日頃の天気予報の仕組みを知れて良かったです。	20
とても楽しい実践でした。	4
楽しかったです。	4
コンピュータの必要性を学びました。	17
天気予報を行うコンピュータはすごいんだなと思いました。	17

僕はまさか方程式で気象予報ができると思っていなかったもので、とても驚きました。身近でほぼ毎日見ている気象予報ですが、こんなに複雑なんだということを知り、すごいと思いました。	20、21
コンピュータを使っただけの授業は、今までにはない感じでとても面白かった。	13
パソコンは難しかったけど、シミュレーションは面白かった。予測は難しい。	13 21
授業は分かりやすく、どのようにやればいいのか理解できたので、良い授業だったと思います。	1
難しかったですが、なんとなく分かりました。	7
分かりにくい部分もありましたが、生活に役立つのでなんとか理解したいです。	7
PCを動かすのは難しかったけど、「こうやってできているんだ」と理解が深まりました。	16、20
難しかったです。	7
難しかったです。	7
とても難しかったが、考えを深めることができた。計算が少し複雑だった。	7、6、 11
難しく苦戦したところはありませんでしたが、数値実験の重要性が分かりました。	7、12
とても分かりやすかったです。難しいところもありました。	1、7
難しかったです。	7
難しかったけど、電卓で計算するのが楽しかったです。	7、9
世界初の授業ということですのでごく興味深かったです。	4
今までになかったパソコンや電卓を使った授業で面白かったです。また、地形と気象の関係があることがわかりました。	4、18
気象庁の人たちはこのようにしてコンピュータを用いて予測しているのだと分かったら、大変だなあと思ったし、すごい！とも思った。	22
計算が少し難しくよくわからなかったです。天気予報は様々な情報から計算して求められていて、大変だと思いました。	11、21
パソコンを使って授業するのが新鮮で面白かった。	4
シミュレーションと電子黒板と大きいプリントの関連性がよくわからなかった。	7
難しく理解するのに苦労しましたが、気象について以前よりも理解できたと思います。	7、18
パソコンに打ち込むのは大変だったが、海陸風の仕組みが分かり面白かつ	16、19

たです。	
C 組	
パソコンを使った実験は初めてだったので興味がありました。分かりやすい説明のおかげで理解ができました。	1
パソコンなどを使い、楽しく分かりやすく学べて良かった。	4、3
PC を使って実際に数値実験をしたことで、天気に対する理解が深まりました。	18
パソコンを使った実験的な授業で、とても興味深く授業を受けることができました。自分は、あまり活動できなかったのですが、最後には天気について少しでも理解できて良かったです。	4、18
今回の授業では、今までコンピュータのシミュレーションをしたことがなかったのですが、戸惑うこともありましたが、とても面白いと思ったし、天気について興味を持ちました。これから天気について興味をもって学習に取り組みたいです。	4、5
内容は難しかったが、コンピュータのすごさと数値実験の重要性を感じた。	7、17、12
珍しい経験で面白かった。	4
数値実験の計算などがとても難しかったのですが、パソコンを使う授業は初めてでとても面白かったです。数値実験の大切さを知りました。	11、4、12
いつもの授業とは違う、様々な機械を使った今回の授業は、実験のときとは違う別の楽しさがありました。	4
パソコンなどを使うことによって、天気や天気予報について詳しく分かることができました。	18、20
今日はPC のミッションだったけど、少し手間取ってしまいました。これから少し天気について興味をもったので、しっかり見ていきたいと思います。	16、5
PC を使ったシミュレーションは理科では初めてで楽しかったし、理解が深まった。	13、18
気象情報を数値化し、天気を予想することによって、正確に予想できると分かった。また、計算するとき、0.1 でもずれれば後から大きなずれになると分かった。	20、8
初めてやる内容の割にしっかりと計算やシミュレーションができ分かりやすかったです。昔はこの計算をしていたと聞き、非常に大変だったことも学びました。	8、14、21
今日はPC の重要性が分かり、面白かったです。	17、4

シミュレーションをするのは楽しかったし、気象のしくみも理解できました。2時間がとてもあっという間でした。	13、18
自分らが見ている天気予報はPCでいろいろなことをして成り立っていることが分かった。また、断面図からはより詳しく真上から見たときより鮮明に見えていろいろな疑問がでてきた。これからももっと天気について深めていきたい。	20、5
最初はとても難しかったけど、だんだん慣れてきて自分だけでも操作ができるようになって楽しかったです。また天気を予想する技術をしっかり理解できて良かったです。	13、20
「もし奥羽山脈がなくなったら」というように、物を消したり新しく作ったりすることで、風向や風力はどうなるのかを調べることができたので良かったです。	3
初めは難しそうだなと思いながら授業を受けていたのですが、やっていくにつれて天気についてだんだん分かってきて深く追究することができました。	18
とても分かりやすく、わからないときは教えてください、とても楽しい授業でした。	4
初めての授業で楽しかったです。計算については難しかったけど天気の方程式があることを初めて知った。	4、11
今日の授業で高度が変わると風向が変わるということが分かりました。また、その現象は海陸風循環のためだということが分かりました。	14、19
計算がとてもめんどくさいと思いました。でも、簡単な説明で計算のしかたはわかりました。海陸風についてあまり分かっていなかったのも、とても楽しい授業でした。	7、19、4
インターネットを使うのが、とても楽しかったし斬新でした。また、計算方法もとても分かりやすく楽しく計算できました。また授業する機会があればお願いします。	4、9
もっと様々な数値でシミュレーションしてみたかったです。	15
地形によって、その陸地に吹く風の向きや湿度などが変わることが分かりました。コンピュータの入力操作で少し戸惑うこともありましたが、とても楽しかったです。	14、16、4
難しかった。しかし、どのようにして天気予報しているのかが分かった。	7、20
計算をしてみて、コンピュータや「京」のすごさがとてもわかりました。また、岩手県にいろいろ工夫することで風力・風向が大きく変わったので、	17、15

もし島があったら、湖があったら、今日の天気が変わっていたのかもしれないなと思い、もっと数値実験をしたいなと思いました。	
結構分からなかったところはあったけど、結果とかは理解できたので楽しかったです。	7、14、4
天気予報のための計算がこんなに複雑だったのを知って驚きました。私は理科の中でも天気が苦手なので頑張りたいです。	21
計算してデータを得ることができるのはわかったけど、パソコンでの操作は他の二人しかやっていなかった。でも、いろんな条件で風向がみられたのはおもしろかった。	20、14
最後までとても難しかったけど、コンピュータの力はすごいと思いました。	7、17
とても難しかったです。	7
パソコンを使った実験で楽しかったです。難しかったけど、気象予報のしくみが少しだけ分かりました。ありがとうございました。	4、20
計算はすごく大変だったけど、細かくおしえてくださってしっかり解くことができました。コンピュータはすごいと思いました。	10、17
分かりやすかったし、自分たちで設定して PC を使ってやるのは理解にもつながるし、とても楽しかったです。	1、12
雲の状態だけではなく、様々な数学要素で計算してからデータを導きだしているのが分かった。	20
パソコンや電子黒板を使ったため、難しい内容も理解することができて良かったです。	3
D 組	
今までは予想をして合っていたらそれでいいと思っていたが、予想に至るまでの理由を検証することが気象について考える上で大切なことだと思った。学校で使ったコンピュータも処理が速いものなのに、320km～320km の範囲の計算をしているだけだったので、気象庁ではどのようなもので計算しているのか気になった。	3、15
とても難しかったのですが、自分にとっての「新しい世界」を知ることができました。とても貴重な時間だったと思います。	7、6
式が難しかった。	11
とても興味深い内容の授業で面白かったです。	4
このような授業はこれまでやったことがなかったから、とても新鮮だった。	4
説明が分かりやすく、海陸風について理解できた。PC を使うことで速	1、19、

く計算できた。	17
風の向きや強さなどが、地形の変化により変わることがわかりました。とても楽しくて分かりやすい授業でした。ありがとうございました。	14、4
かなり難しかったのですが、天気予報の出し方はこうやっているのだなど分かった。ありがとうございました。	7、20
パソコンを用いながら、数値予報の計算のように、難しいことはパソコンなどの機械に頼り、1秒後とかではなく1日、2日後のように日単位で予報することが大事だと考えることができた。	20
こんなにも数字を使って天気を予報していることがわかりました。少し興味をもちました。	20、5
Excelは少し使ったことがあるので、スムーズにできました。ただPCを使用しているにもかかわらず計算に時間がかかっていたので、気象予報などは大変なのだと思います。	21
説明が丁寧で、またパソコンなどを使っていてとてもわかりやすかったです。	1、3
図やグラフがわかりやすかった。	2
あまり関係がなさそうで関係がある天気予報について学習してみて驚くがとても多かったです。コンピュータの必要性も感じたし、方程式にも興味がわきました。	20、17
内容は難しかったのですが、シミュレーション設定をして、ないものを作ったり、あるものをなくしたりして、理科への関心が深まった。	7、5
内容は難しかったけど、説明があったのである程度理解できました。	7、1
計算がとても難しかった。しかし、きちんと数値を求められてよかった。データにしてみるのも楽しく理解できた。	11、 10、4
今回天気に関する授業で、今まで風向の書き方は知っていたけどコンピュータを使って天気を予報する仕方は知らなかったのもとても面白い授業でした。	4
ためになる授業でした。	6
今まで自分は二分野の方にあまり興味がなく、おもしろみを感じていなかったのですが、今日の学習で天気にとっても興味がわきました。ありがとうございました。	5
海陸風循環のしくみについて理解が深まりました。膨大な量の計算を短時間で解いてくれるコンピュータは気象予測において大切な役割を果たしていることがわかったし、しくみがおもしろいなと思いました。	19、17

かなり難しい内容でわかりにくいところもあったけど、方程式を使ったところの説明はとても分かりやすかったと思う。普通の授業では学べないことを知ることができて、とても良かった。	7、1、6
計算の仕方はよくわかりませんでした。どういう仕組みで数値実験が行われているかがわかりました。日々見ている気象情報もこういうのにつながっているのかと思うと面白かったです。	11、14、4
とても分かりやすい授業で、天気や風向きについてもっと知ることができ、興味を持ちました。	1、18、5
はじめて自分たちで計算して、実際にやってみておもしろいと思いました。	9
PC を使って図面をつくり、結果を見くらべることでよりわかりやすく理解できた。計算の方は難しかった。	14、11
a とか t とかが並んだ計算式を見るとすごく難しそうだったけど、言葉にすれば意外と単純だと思いました。シミュレーションはたくさん計算があるけどコンピュータはすぐ終わったのですごく良かったです。	8、17
電子黒板では実際に一緒に先生と一緒にやりながらだったので、とてもわかりやすかったです。ですが、グラフの結果や地図などは黒板にも貼っていた方が電子黒板の画面が変わっても確認できるのではないかと思います。	1
少し難しいかなと思って聞いていたけど、山を作ることで、山に風がぶつかり、山があるとないのでは、風の向き強さが変わってくるということがだんだん読み取れるようになってきて自分でも嬉しかったです。そして、海陸風の循環が心に残っていて、その仕組みも理解できたのでよかったです。	14、19
計算が難しかった。天気予報に計算を使うことを初めて知り、驚いた。自分たちは一目で見て終わる情報だが、多くの作業があることが分かった。	11、20、21
天気についてあまり知らなかったけど、授業で天気予報が作成される手順を知りました。方程式みたいなものがあることにびっくりしました。天気に興味がわきました。楽しかったです。	20、5、4
難しい内容だったけど、海陸風循環とはどういうものが分かりました。	7、19
計算は分からなくて、入力も大変でしたが、先生たちが教えてくれたおかげでなんとかできました。今日はありがとうございました。	11、16、3
海陸風に対する考えが深まった。計算は難しそうだったけど、覚えると簡単に解けた。気象について興味がわいた。	19、10、5
かなり難しい内容でしたが、丁寧に分かりやすい説明で良かったです。もっと天気に興味をもてるようにしていきたいです。	1、5

海陸風についてもっと詳しい学習をすることができました。計算で1秒後の気温が分かることを知り、驚きました。また、スライドも見やすかったです。ありがとうございました。

19、9、
1

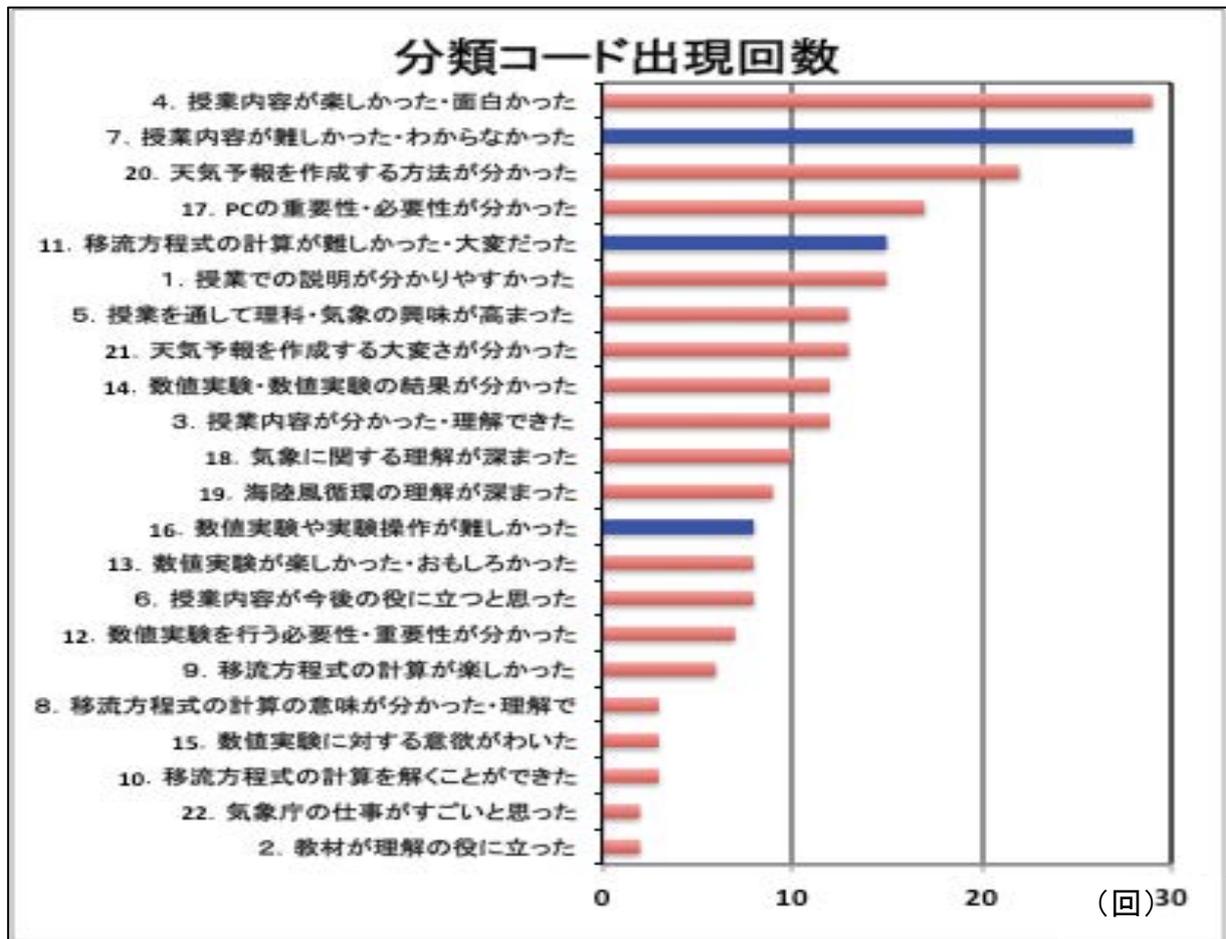


図3-33 記述アンケート分類結果 (n=245)

生徒が記述した内容(表3-12)を、分類コードにそれぞれ分けていった結果が図3-33である。記述量が多い分類コード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、授業内容が楽しかったという記述や授業を通して理科や気象の興味が高まったという記述が多くあり、普段理科では使わないPCを用いたことで、意欲的に授業に参加していたことがわかる。しかし、数値実験に対する意欲が湧いたという記述が少なかったことから、数値実験自体への興味・関心はあまり高まらなかったのだと考える。また、海陸風循環に関する記述も少なかったため、実験結果から現象について考察する時間が十分ではなかったのだと考える。

一方、「授業内容が難しかった」や「移流方程式の計算が難しかった」という記

述が多く、全体的に理解するのが大変だったということが分かった。授業内容、特に計算に関する内容を生徒が理解できるような、的確な説明をしたり補助教材を用意したりすることが必要である。しかし、計算が難しいと生徒が感じたことによって、数値実験やPCの必要性を実感することにつながったと考えられる。

3. 4 結論

数値実験を用いた2時間連続の授業を行うことによって、生徒たちは海陸風循環についての理解することができた。実験結果から現象について考察する時間を多く確保できたD組の記述アンケートで、海陸風循環の理解に関する記述が多かったことから、数値実験が生徒の理解を深めるために役立っていたことが明らかとなった。

さらに、もともと気象に興味を持っていなかった生徒が多かったが、授業を通して理科や気象に対する興味を高めることができた。

一方、移流方程式の計算の意味や計算方法の理解、さらに計算と数値実験の設定との関連性に関する理解を高めることができなかった。つまり、数値実験の仕組みを十分に理解させることができなかったと考える。今回の授業では、手計算を解かせることによって数値実験の仕組みを理解させようと考えているため、生徒が少しでも簡単に計算できるように工夫していく必要があると考える。

第4章 授業実践-大学生対象-

4. 1 授業の概要

「NHM 統合環境」を用いた実践を、2015年6月18日（木）に岩手大学で実施した。対象は、平成27年度岩手大学教科専門科目「地学実験Ⅰ・Ⅱ」を受講している学生14名である。授業の目的や内容などの詳細については、以下に報告する。

4. 1. 1 授業の目的

大学生を対象に授業を行う目的は、2つある。

1つ目は、中学生の授業と同様に、大学生の気象現象（海陸風循環）に関する理解と数値実験の仕組みの理解を深めることである。第3章で、数値実験を用いた授業を行うことにより、中学生が海陸風循環を理解したことを示した。そこで、大学生を対象に授業をしても、現象の理解を深めることができるのかを検証したいと考えた。

2つ目は、将来教員を目指している学生に、気象現象の理解を深めるために、数値実験を用いた授業が必要であると感じるかを検証することである。実際に学生が数値実験を行うことによって、理解できたことや難しいと感じたことなどを授業後のアンケートなどで明らかにし、今後の授業実践に活かしたいと考えた。

4. 1. 2 実験環境

実験環境は、第3章の図3-1の通りである。学生の各自のPCで実験を行うことも考えたが、PCのCPUによって計算時間に差が出てしまうため、全員同じPCを用いることにした（使用したPCの詳細は、3. 1. 3を参照）。学生の人数が14名であったため、2人1組で実験できるように7セット用意した。

4. 1. 3 授業構成

授業は、3時間連続（90分2コマ）の構成である（表4-1）。中学生対象の実践と同様に、「数値積分の基本概念の学習」と「地形による海陸風の変化の学習」を授業の大きな柱とした。この2つを行う目的と授業内容については、3. 1. 3を参照してほしい。ただし、中学生対象の授業内容と大きく異なる点がある。それは、地形編集の設定である。中学生対象の授業では、地形を変化させる5つのミッションを用意し、その中から1つ選択する形式であったが、大学生対象の授業では時間を多く確保できたため、学生に自由に地形を編集してもらい、数値実験を行った。

授業で使用したPPの内容は、指導案（表4-1）以降（92頁～98頁）に提示する。

表 4-1 学習指導案

	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
導入	<p>1 導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中学校の教科書に記載されている海陸風の図を元に、地上における海陸風について復習する。 <p>2 課題把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・数値予報ではなく、数値実験を行うことを確認する。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>数値実験を行い、海陸風が地形によってどのように変化するか考えよう。</p> </div>	5 10	<p>■PP (【1】～【3】)</p> <p>○地形を編集することによって、中学校で学習した海陸風が、どのように変化するかを考えることを確認する。</p> <p>■PP (【4】、【5】)</p>
展開 ①	<p>3 移流方程式を手計算で行う。</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。(図 4-1) ・計算結果をグラフに記入する。 ・将来の温度は、周りの温度に影響されて変化することを確認する。 <p>4 海陸風の数値実験を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・条件設定（計算時間ステップや世界時間）の値を求めながら、設定画面に入力する。(図 4-2) ・実験する地形を考え、地形編集を行う。(図 4-3) ・すべての設定が終わったら計算を実行させる。 	40 60	<p>■PP (【6】～【13】)、 「天気予報のしくみ」プリント (図 4-1)</p> <p>○微分方程式を数列に変形した式を用いる。</p> <p>○計算方法が直感で分かるように、数直線などを用いて説明する。</p> <p>■PP (【14】～【19】) ミッションプリント (図 4-2、図 4-3)</p>
	(休憩)	75	

展 開 ②	5 多画面平面図の使い方を学習する。 ・計算結果を表示する多画面平面図の使い方を学習する。 ・計算が終わるまで、多画面平面図の元データを操作して海陸風やその他の気象状況を確認する。	85	■多画面平面図マニュアル (図3-17参照) ○多画面平面図の使い方プリントを見ながら作業させる。
	6 結果確認 ・計算が終了したグループから、多画面平面図で結果を確認する。 ・地形を編集することによって、海陸風やその他の気象状況がどのように変化しているのかを確認し、考察する。	115	○あらかじめ岩手県の元データをPCに保存しておき、実験結果と比較できるようにする。 ○数値実験の結果から、海陸風に着目させる。
	7 まとめ (まとめ例) ・湖を陸地に作ると、湖からも海陸風 (湖陸風) が吹いていたため、水と陸の条件を満たすと海陸風と同じ現象が起こると考える。	125	
	8 発表 ・自分たちの実験結果と考察 (まとめ) を発表する。	155	○各グループの実験結果をスクリーンに表示し、結果を共有できるようにする。
終 結	7 海陸風循環の存在を知る ・多画面平面図で1500m上空の風向を表示し、地上の風向と反対になり、風が循環していることを確認する。	165	■PP (【20】) ○海陸風循環を、多画面平面図の断面図で表示して説明する。

【授業で使った PP】

次の頁以降に、授業で使った PP を示す。

・授業で使用した PP のスライド

海陸風 海に面した地域では、海陸風とよばれる風がふく。海陸風は、季節風と似た現象で、風向きが1日のうちで変化する。

日中に陸があためられると、陸上の気温が海上の気温より高くなる。その結果、陸上の気圧が海上よりも低くなるので、海から陸へ向かって海風がふく。夜になって陸が冷えると、陸上の気温が海上の気温よりも低くなる。その結果、陸上の気圧は海上よりも高くなるので、陸から海へ向かって陸風がふく。また、海風と陸風が入れかわる朝方と夕方には、風が止まる時間帯がある。これを朝なぎ、夕なぎという。

活用 季節風の向きが、夏と冬とで異なる理由について、「高気圧」「低気圧」「ユーラシア大陸」「太平洋」という言葉を使って説明しなさい。

図2 海陸風 陸が冷える夜には、海の上で上昇気流が生じるため、陸から海へ風がふく。陸があたまる昼には、陸の上で上昇気流が生じるため、海から陸へ風がふく。

・授業での説明(●)、学生への発問等(▲)

●海陸風の復習を行う。

中学校で学習した「夜に陸風が吹き、昼に海風が吹く」ことを確認する。

▲今日は、海陸風が吹いている様子を、数値実験（シミュレーション）によって確かめていきます。

【1】

シミュレーション (数値予報)

	1水	2木	3金	4土	5日	6月	7火
札幌	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
釧路	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
秋田	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
仙台	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
新潟	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
金沢	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
長野	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
東京	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴

●天気予報の作成方法の説明

天気予報は、「シミュレーション」(数値予報)することによって作られていることを教える。また、海陸風のような風もシミュレーションできることを説明する。

▲天気予報で使われているようなシミュレーションソフトを使って、海陸風が吹いているかを確認します。

【2】

シミュレーション結果

12時の結果 24時の結果

海陸風

●実際に見ることができるシミュレーション結果の提示

学生たちが実際に実験を行う領域のシミュレーション結果を見せる。また、今回は現在の地形における海陸風について見るのではなく、自分たちで地形を変えたときの海陸風をシミュレーションすることを説明する。

【3】

今日の課題

数値実験を行い、海陸風が地形によってどのように変化するか考えよう。

●課題提示

今日の学習の課題を提示し、プリントに記入させる。

【4】

数値予報・数値実験とは

●数値予報（天気予報）

気象要素（風や雨など）を求める方程式に基づいて様々な計算を行い、将来の天気を予報すること。

●数値実験

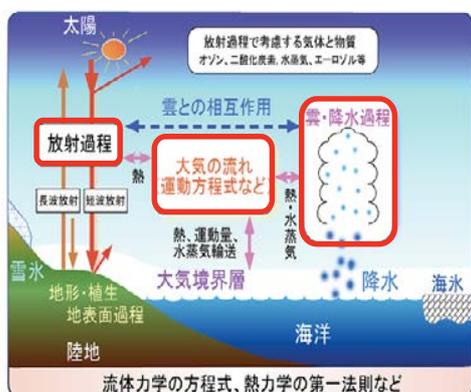
実際にはない地形などで、どのような気象状況になるのかを実験すること。

●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。

【5】

コンピュータで行われていること



気象庁HPより <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

●コンピュータが行っていることを図で確認する。

大きく分けて、放射過程・降水過程・大気の流れについて考慮していることを確認する。

【6】

数値予報モデルで考慮される計算

放射過程(熱に関する法則)

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

$$\frac{\partial \bar{\rho} \theta}{\partial t} = \text{adv.} \theta + \text{Turb.} \theta - \bar{\rho} w \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} + \frac{\bar{P} C_p}{C_p \pi} (CN_{vc} - EV_{cv} - EV_{v'})$$

大気の流れ(力などに関する方程式)

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

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

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

雲・降水過程(質量保存則)

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

【7】

●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。

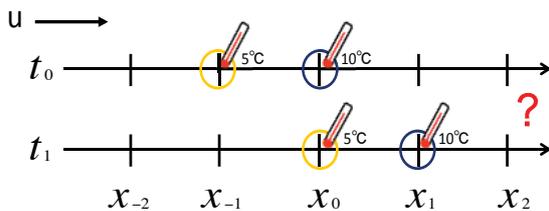
▲今回は、この青い丸で囲まれた式をみなさんに解いてもらいます。

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)



【8】

●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。

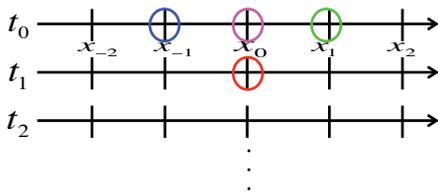
▲時刻 t_0 、つまり現在の時刻の空気塊が、風 u が吹くことによって、次の時刻 t_1 ではどのように動いているのかを求めるのが移流方程式です。

計算してみよう!

【温度の計算(移流方程式)】

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

$$\text{1秒後の温度 (°C)} = \text{現在の温度 (°C)} + \frac{\text{-(風速) \times 時間}}{\text{距離 [(m/s) \times s] / m}} \times (\text{現在の右隣温度 (°C)} - \text{現在の左隣温度 (°C)})$$



【9】

●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1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。

計算してみよう！

【温度の計算（移流方程式）】

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

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

	X_{-2}	X_{-1}	X_0	X_1	X_2	X_3
0	0.0	2.7	4.5	4.9	3.8	1.4
1	-0.5					1.9
2	-1.1					2.4
3	-1.6					2.9
4	-2.1					3.4
5	-2.6					3.8
6	-3.1					4.2
7	-3.6					4.5
8	-4.0					4.8
9	-4.3					5.0
10	-4.7					5.2

【10】

● 計算の方法を確かめる。

数列の形に書き換えた移流方程式を用いて、『天気予報のしくみプリント』の表に計算結果を記入していくことを確認する。 X_0 における1秒後の温度のみを一緒に計算し、計算の方法（手順）を理解させる。

これからすること

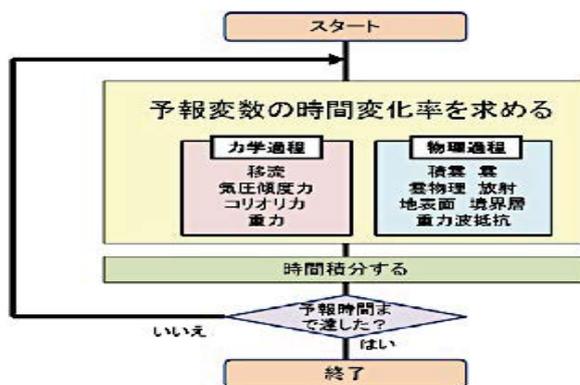
- 2人1組で、10秒後まで計算する。
- 計算が終わったら手を挙げる！
10秒後の温度を出すまでの時間を計測します！
⇒かかった時間をプリントに記入する。
- 偶数の時間（ $t=2, 4, 6, 8, 10$ ）のときの値をグラフにプロットする。
⇒時間ごとに色を変えると分かりやすいかもしれません…。

【11】

● これから行うことの確認

2人1組で協力して計算を行う。
4地点 10 秒後の計算にかかった時間を計測し、かかった時間をプリントに記入させる。（PCの計算速度と比較させるため。）その後、かかった時間をプリントに記入したら隣のグラフ用紙に偶数の時間をプロットさせる。

数値予報のしくみ



【12】

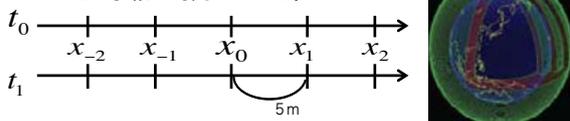
● 数値予報の仕組みの説明

実際の天気予報などでは、手計算で求めたことに加えて、様々な気象要素を求める方程式を解いていくことを確認する。

また、予報したい時間まで計算を何度も繰り返して行っていかなければならないことを確認する。

数値予報をするために

- 世界中の数値予報をするとなると・・・
しかし、高性能のコンピューターが必要になる。
または予報に時間がかかる。



- 速く計算できるスーパーコンピューターが必要。
『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…。

●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？

【13】

数値実験をしよう！

- コンピュータで計算をするために・・・
最初の値（初期値）が必要。

10秒=1秒間隔×10回

- 計算する時間：2日（48時間）

ステップ
(48時間= [] 秒 = 10秒間隔 × [] 回)

- 季節：夏(7月2日0時)【設定7月1日 [] UTC】
日本時間：世界時間 + [] 時間

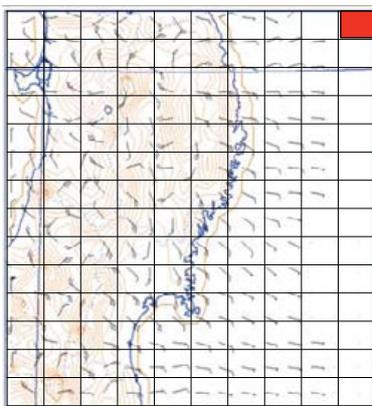
- 計算する領域：縦320km、横320km

●数値実験（初期値）の設定

計算する時間や時間間隔、日時などを問題形式で確認していく。また、手計算で解いた移流方程式の時間間隔や領域設定などと照らし合わせるにより、手計算と数値実験を関連づけられるようにする。

【14】

数値実験をしよう！



格子数：32×32

10000m×10000m



32×10000m
=320000m
=320km

●数値実験で行う領域設定（格子概念）の説明

設定する格子数と格子間隔を確認し、実際にシミュレーションする領域の規模を確認する。

【15】

数値実験をしよう！

	高度 m	風向 °	風速 m/s	U成分 m/s	V成分 m/s	気圧 hPa	気温 ℃	温位 K	湿熱 ℃	湿度 %
第01層	0	90	0.0	0.0	0.0	1013.3	18.2	290.3	4.5	75
第02層	12	90	0.0	0.0	0.0	1011.9	18.1	290.3	4.5	75
第03層	676	166	0.0	0.0	0.0	935.9	15.9	294.6	4.4	75
第04層	908	191	0.0	0.0	0.0	909.3	16.5	297.6	4.4	75
第05層	1394	226	0.0	0.0	0.0	857.9	15.4	301.5	161.7	0
第06層	1907	237	0.0	0.0	0.0	804.7	13.4	304.9	159.9	0
第07層	3021	246	0.0	0.0	0.0	699.4	6.6	309.8	154.1	0
第08層	4274	248	0.0	0.0	0.0	595.7	-0.3	316.4	148.3	0
第09層	5722	250	0.0	0.0	0.0	491.2	-7.4	325.7	142.3	0
第10層	7442	254	0.0	0.0	0.0	386.9	-17.5	335.4	133.8	0
第11層	8439	255	0.0	0.0	0.0	335.2	-24.9	339.3	127.7	0

【16】

●数値実験の鉛直プロファイル設定の説明

今回の実験では、地形による海陸風の変化を見るため、最初に何も風がない状態を設定して、時間が経つにつれて風がどのように吹くのか、シミュレーションすることを説明する。

数値実験をしよう！

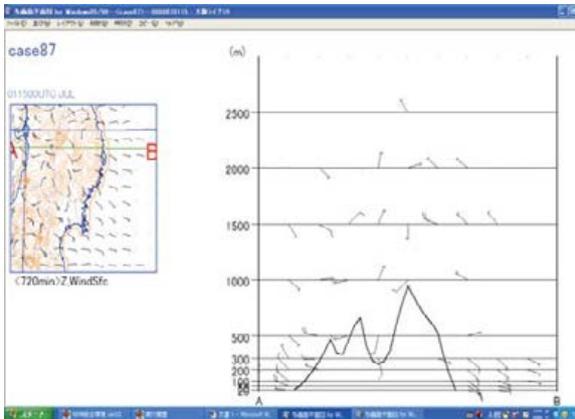
【17】

●数値実験の地形編集の設定

「数値実験をしよう！」プリントの2枚目を見ながら、Excelのページを遠目で見ると地形になっていることや、編集の仕方を具体的に説明する。

▲例えば、太平洋に島を作るのであれば、太枠の部分の高度と海陸分布を編集します。高度の単位はmで、海陸分布は、1が陸で0が海です。

数値実験をしよう！



【18】

●自分たちで実験する地形における海陸風の予想

元々の地形の平面図と断面図を表示し、これを参考にして、学習プリントに予想を記入させる。

▲今回は海から陸に向かって吹く、海風の時の場合のみを予想してみてください。

数値実験をしよう！

- どのような地形にするか決めよう！
- 『数値実験をしよう！』プリントの2枚目に、どのように（どこを）編集するか記入する。
- 『学習プリント』の予想の欄に風の向きなどを記入する。

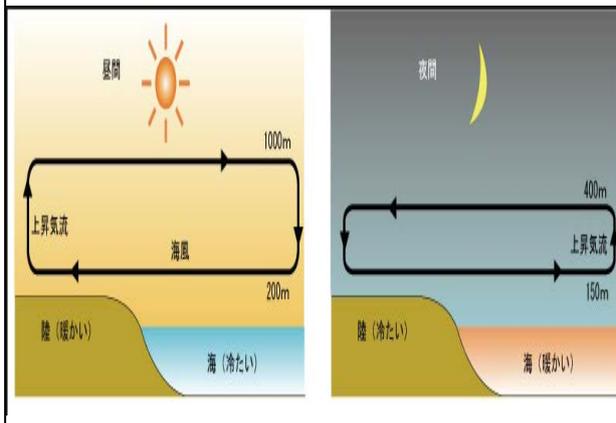
【19】

●数値実験の地形編集と予想

【17】【18】の説明をまとめたスライドを提示する。

「数値実験をしよう！」プリントの2枚目に、実験してみたい地形を記入させ、実験する地形が決まったら、学習プリントに予想を記入させる。

海陸風循環



【20】

●海陸風循環の説明

授業の最後に、元の地形や学生が考えた地形における実験結果を表示しながら、海陸風が循環していることを確認する。その後、このスライドにある図を見せ、海陸風循環について説明する。

4. 1. 4 授業実践内容・使用した教材

実際に行った授業の流れを、授業内で使用した教材について触れながら述べていく。

導入では、海陸風の仕組みを忘れてしまっている学生もいると思ったため、数値実験で得られた海陸風のシミュレーション結果をもとに、海陸風の復習をした。

数値実験の仕組みを理解するための移流方程式の計算では、2人1組で10秒後の温度を計算した。その際、10秒後の温度を計算するのに、どのくらいの時間がかかったのかを実感してもらうため、ストップウォッチで計算にかかる時間を計測した。1番早いグループは10分以内、1番遅いグループは20分ほど時間がかかった。その後、グラフも全て記入し、移流方程式で求めた温度変化の特徴について学習した(図4-1)。

数値実験では、まず条件設定する値を空欄にしたプリントを配り、全員で一緒に値を確認しながらプリントと設定画面に記入した(図4-2)。そして4.1.2で述べたように、地形を自分たちで自由に考えて地形編集を行った(図4-3)。しかし、「標高1億mの島を作る」やマイナスの値を代入するなど、計算が止まってしまうような値で地形編集を行ったグループもあった。そこで、海陸風の変化を考察できるような条件設定に変更させて、再度条件設定を行わせた(図4-4、図4-5)。

数値実験結果が表示されると、自分たちが考えた地形が図となって表れたこともあり、学生たちは地形における海陸風の変化について意欲的に考察していた。結果を見るときは補助資料として、中学生の授業で用いた多画面平面図マニュアルを使用した(図3-21参照)。おおよそのグループが結果と考察を学習プリントに記入したところで(図4-6)、スクリーンにそれぞれの結果を表示し、考察を発表した(図4-7、4-8)。

授業の最後には、元の地形のシミュレーション結果を表示し、海陸風が循環していることを確認した。また、学生が考えた地形における実験結果で、はっきり海陸風循環を確認することができるものがいくつかあったので、その結果をスクリーンに表示して、海陸風が循環していることを確認した。

数値実験としよう!

① 計算時間と以下のよりに設定する。

- ・計算時間: _____ ステップ (48 時間 = _____ 秒 = _____ ステップ×10 秒)
- ・計算時間間隔: 10 秒/ステップ (時間間隔 = Δt)
- ・GPV 出力時間: 360 ステップ/毎 (360×10 秒 = 3600 秒 = 1 時間/毎に画像を表示)

② 予報オブションと以下のよりに設定する。

- ・『予報しない』を『JSM 準拠』にし、『7月1日 UTC』にする。
(UTC) とは、世界時間のこと。日本は、世界時間 + _____ 時間。
開始時間を 0 時にするために、- _____ 時間して、- UTC にする。
つまり、日本時間 7月2日 0 時に設定することになる。)
- ・『ユリオリカを考慮する』にチェックを入れる。
- ・『降水系』にチェックを入れて、『cold_rain』にチェックを入れる。

③ 計算領域と以下のよりに設定する。

- ・格子数: 32×32 (Δx×32=10000m×32=320000m=320km)
- ・格子間隔: 10000m (Δx)
- ・領域中心緯度: 39.0 度
- ・領域中心経度: 141.5 度

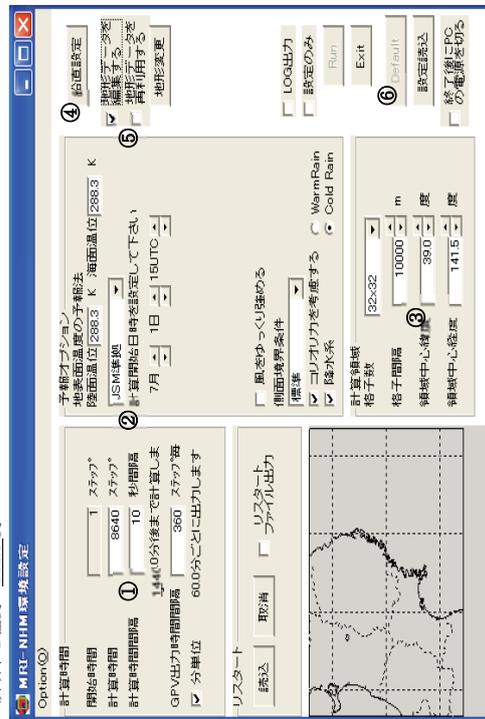


図 4-2 条件設定プリント

④ 鉛直設定とす。

- ・すべて層の『風速』を 0m/s にする。

層	高度 m	風向	風速 m/s	U _{ref}
第01層	0	90	0.0	0.0
第02層	12	90	0.0	0.0
第03層	676	166	0.0	0.0
第04層	908	191	0.0	0.0
第05層	1394	226	0.0	0.0
第06層	1907	237	0.0	0.0
第07層	3021	246	0.0	0.0
第08層	4274	248	0.0	0.0
第09層	7442	254	0.0	0.0
第10層	8439	255	0.0	0.0
第11層				
第12層				
第13層				
第14層				
第15層				
第16層				
第17層				
第18層				
第19層				
第20層				
第21層				
第22層				
第23層				
第24層				
第25層				
第26層				
第27層				
第28層				
第29層				
第30層				
第31層				
第32層				
第33層				
第34層				
第35層				
第36層				
第37層				
第38層				
第39層				
第40層				
第41層				
第42層				
第43層				
第44層				
第45層				
第46層				
第47層				
第48層				
第49層				
第50層				
第51層				
第52層				
第53層				
第54層				
第55層				
第56層				
第57層				
第58層				
第59層				
第60層				
第61層				
第62層				
第63層				
第64層				
第65層				
第66層				
第67層				
第68層				
第69層				
第70層				
第71層				
第72層				
第73層				
第74層				
第75層				
第76層				
第77層				
第78層				
第79層				
第80層				
第81層				
第82層				
第83層				
第84層				
第85層				
第86層				
第87層				
第88層				
第89層				
第90層				
第91層				
第92層				
第93層				
第94層				
第95層				
第96層				
第97層				
第98層				
第99層				
第100層				

⑤ 『地形編集』にチェックと入れる。

⑥ 『RUN』を押し。

- ・『Excel で編集します』と出てきたら、『OK』を押し。
- ・『指定されたファイルは、格子数 32×32 です。このまま実行しますか?』と出てきたら、『はい』を押し。
- ・『高度データ、海陸分布データ、粗度データを編集後、『書き込み』ボタンを押しして下さい』と出てきたら、『OK』を押し。
- ※ここまでできたら、手を挙げてください!

⑦ 地形を変更する。(Excel で編集する。)

- ・『高度』と『海陸分布』を編集し、自分たちが作りたい地形にする。
(海陸分布: 『0』⇒海、『1』⇒陸)

⑧ 『メニュー』の『書き込み』を押し。





図 4-4 地形を編集している様子

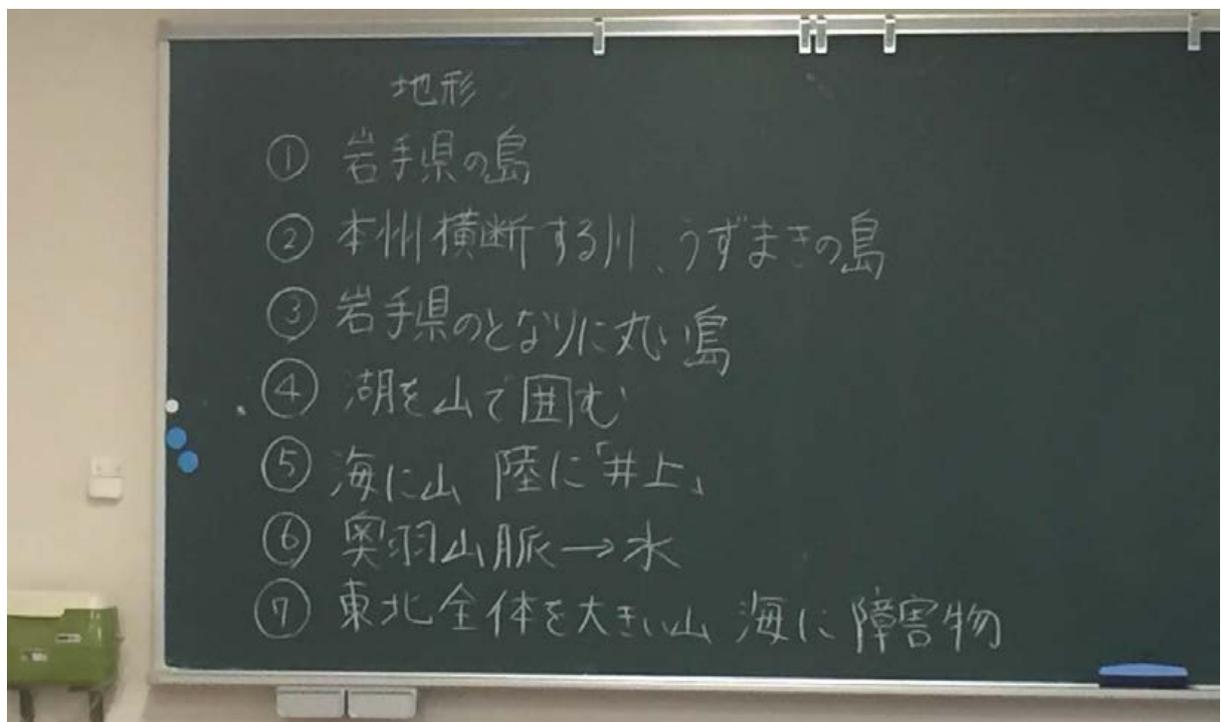


図 4-5 学生が考えた地形

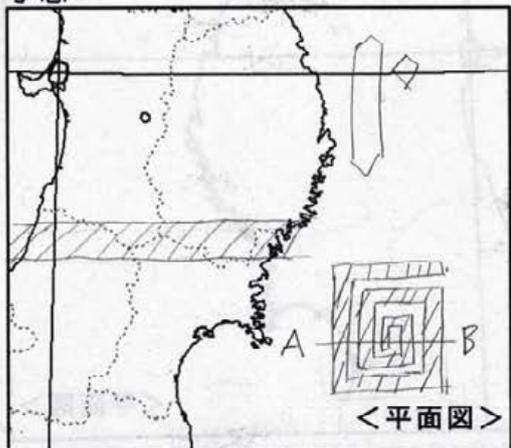
氏名 XXXXXXXXXX

課題

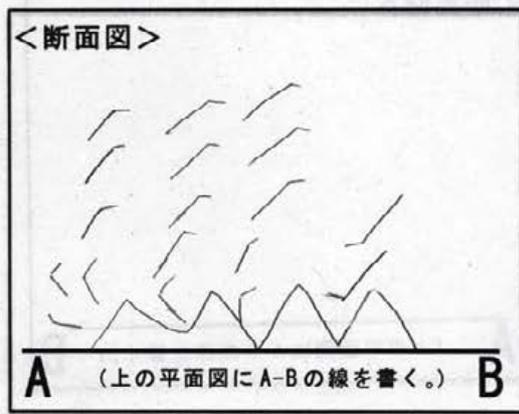
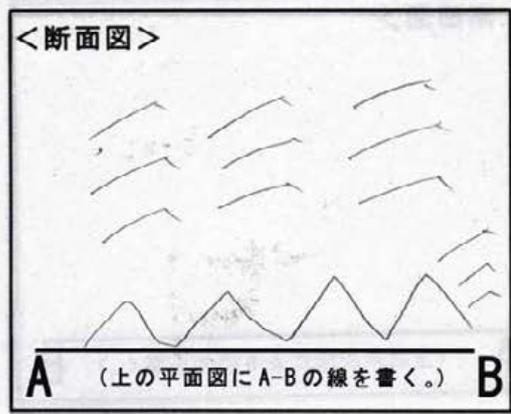
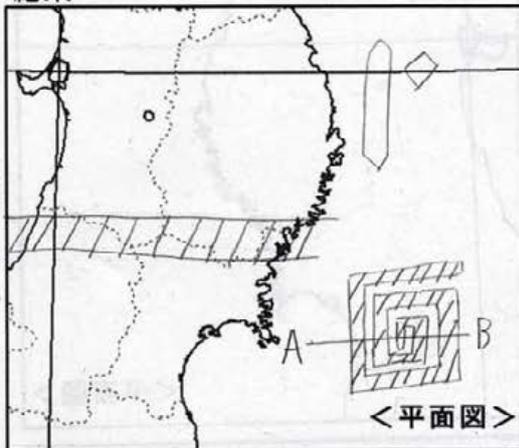
数値実験を行い、海陸風が地形によってどのように変化するか考えよう。

自分たちが作る地形は…本州を横断する巨大河川，太平洋にうずまき島

予想



結果



考察・まとめ

本州を横断する河川の上では、風は、直線的に吹くと思したが、中央付近で、風が渦をまいて吹いている。意外だった。また、うずまき島では谷の方に風が入り込むことで、様々な方向に風が吹いたり、渦をまいたりして、独特な風が吹いていた。

図4-6 学習プリント記入例（本州を横断する川と渦巻き島）

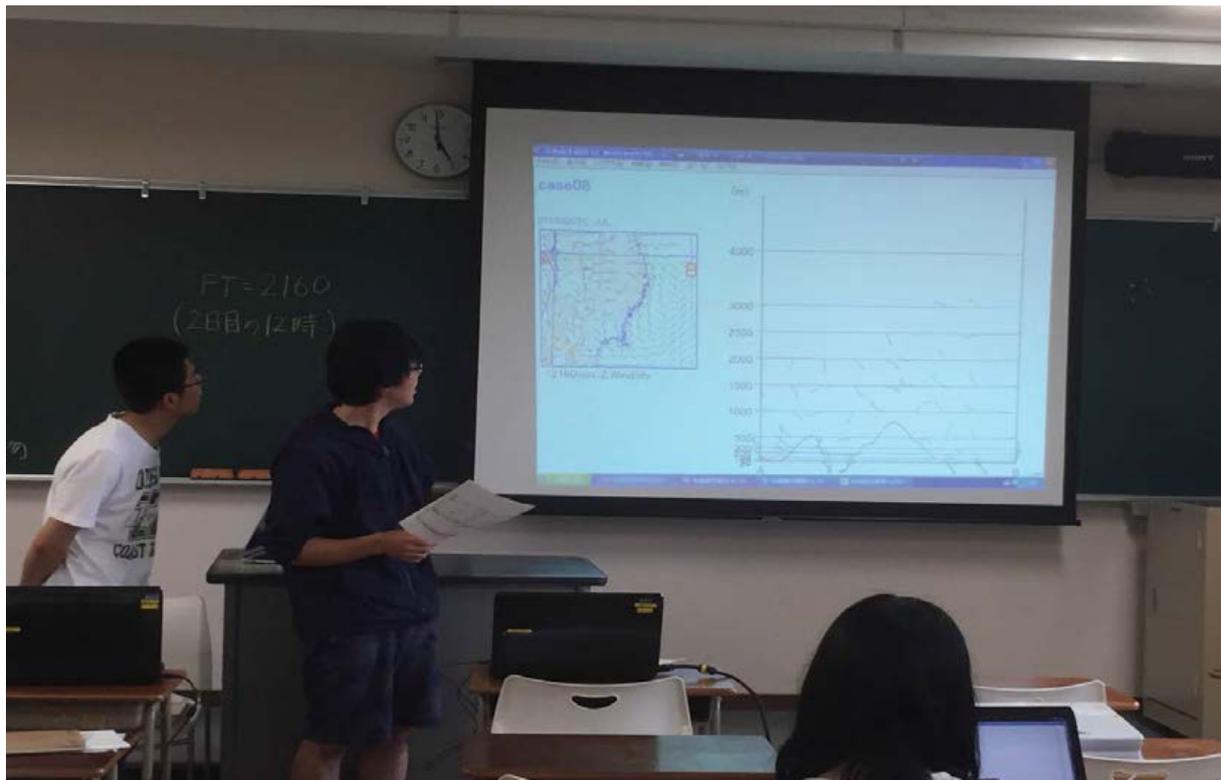


図 4-7 実験結果を発表している様子（奥羽山脈を湖にした例）

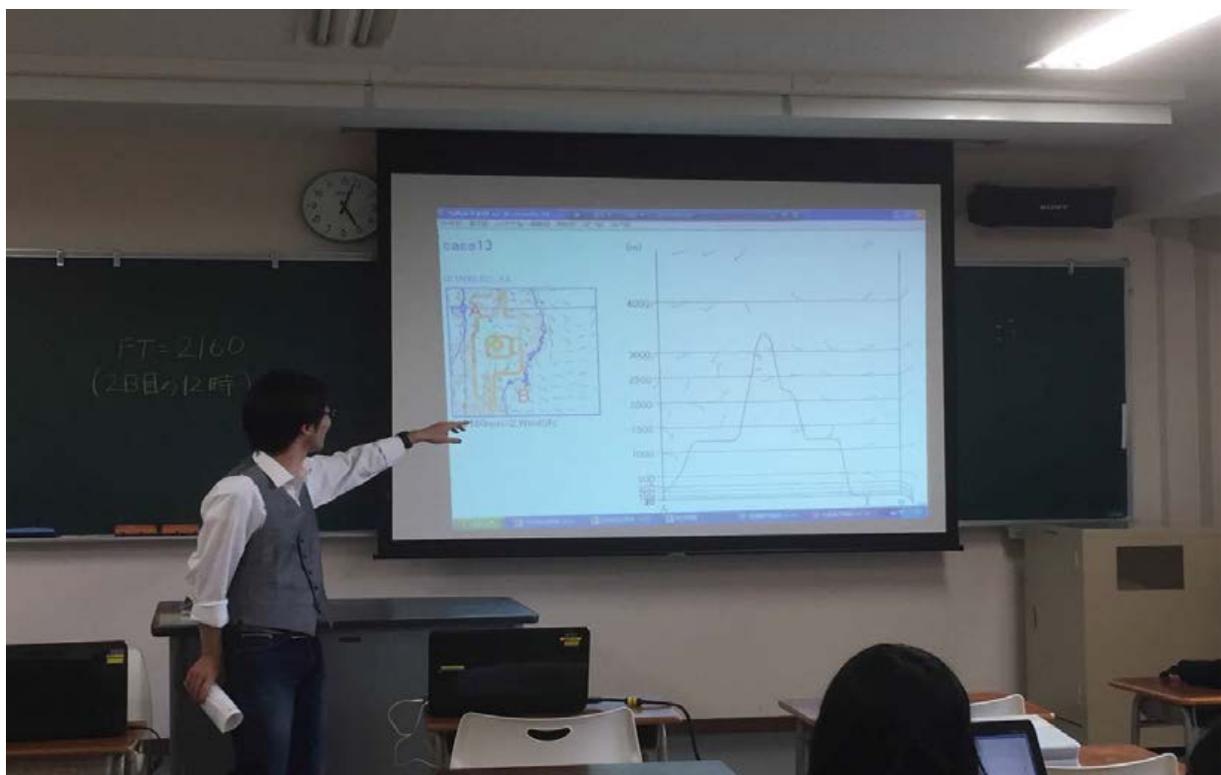


図 4-8 実験結果を発表している様子（東北全体を大きな山にした例）

4. 1. 5 実験結果に対する学生の結果と考察（まとめ）

学生たちは、自分たちが考えた地形における海陸風の実験結果から、その結果となる原因について考察した。まず、現在の地形におけるシミュレーション結果を示す。その後、学生が得た実験結果と学生がプリントに記入した考察を7つの実験ごとにそれぞれ示す。なお、表示する結果は初期時刻から2160分後の、昼の12時の結果のみを示す。また、断面図を表示する箇所は学生が作成した地形で特徴のある箇所を表示している。

①現在の地形

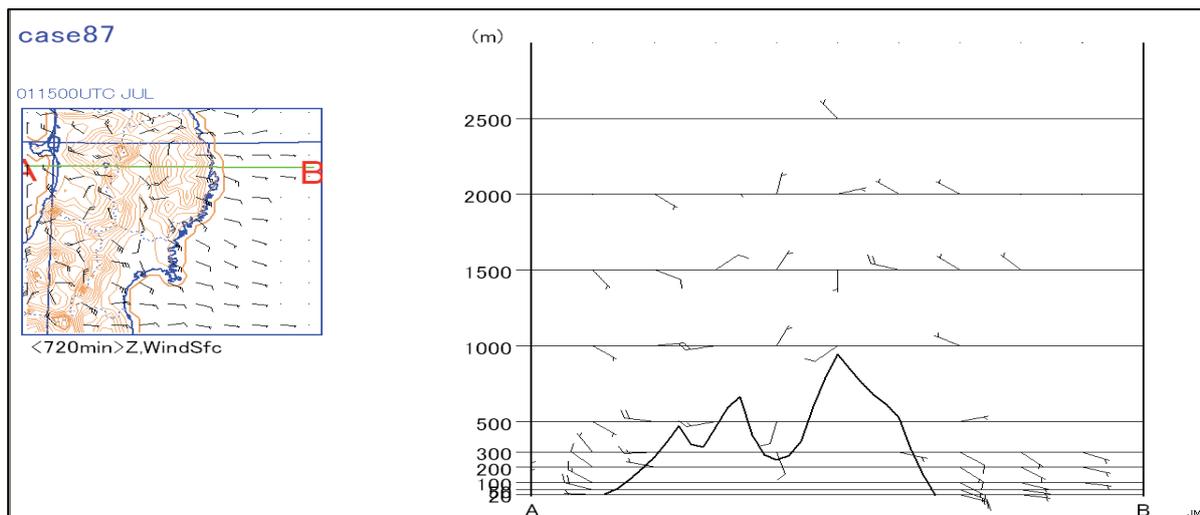


図4-9 現在の地形におけるシミュレーション結果

日本列島に向かって海風が吹いているのが確認できる。1500 m 上空では風向きが反対になっており、海陸風が循環している様子が見られる。また、奥羽山脈付近では、山があるところで、上昇気流が発生しているのが確認できる。

①岩手県を島にする（他県を全て海拔0 mにする）

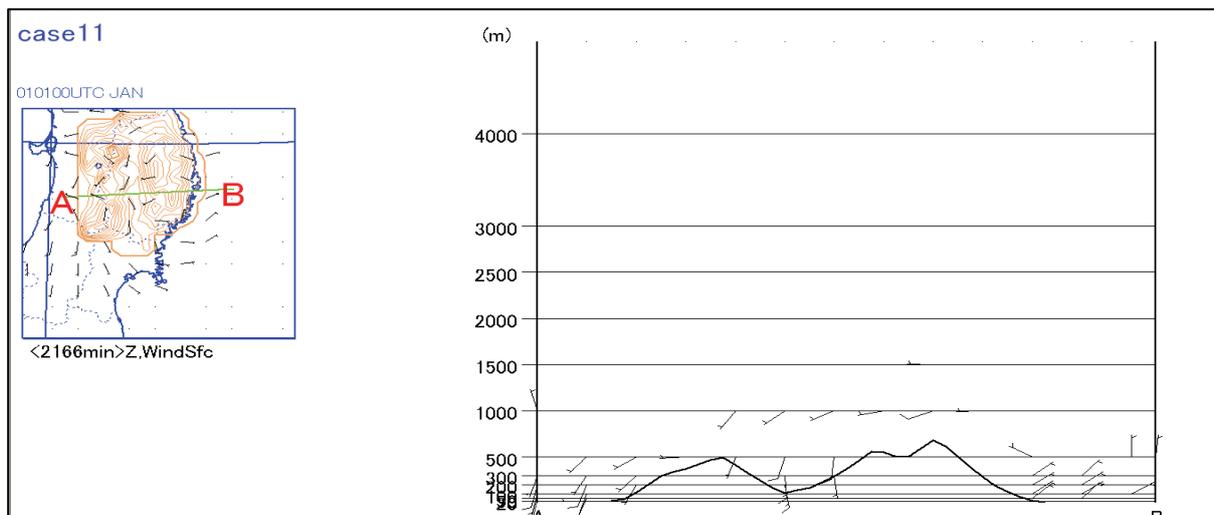


図4-10 岩手県を島にした実験結果

元々の地形では日本海側で吹き下ろす風、太平洋側で吹き上げる風の海風が吹いているのに対し、新しい地形の日本海側は吹き上げる風、太平洋側で吹き下ろす風の海風が吹いていた。また、白神山地と奥羽山脈の間の谷の風が秋田県側へ吹き上げる方向から岩手県沿岸へ吹き上げるように変わっていた。また新しい地形の下半分では、海上から渦（時計回り）を描きながら地形に流入していた。

※条件設定の際に GPV 出力時間間隔の値を間違えてしまったため、2160 分ではなく、2166 分後の結果を表示している。

②本州を横断する川と渦巻き島

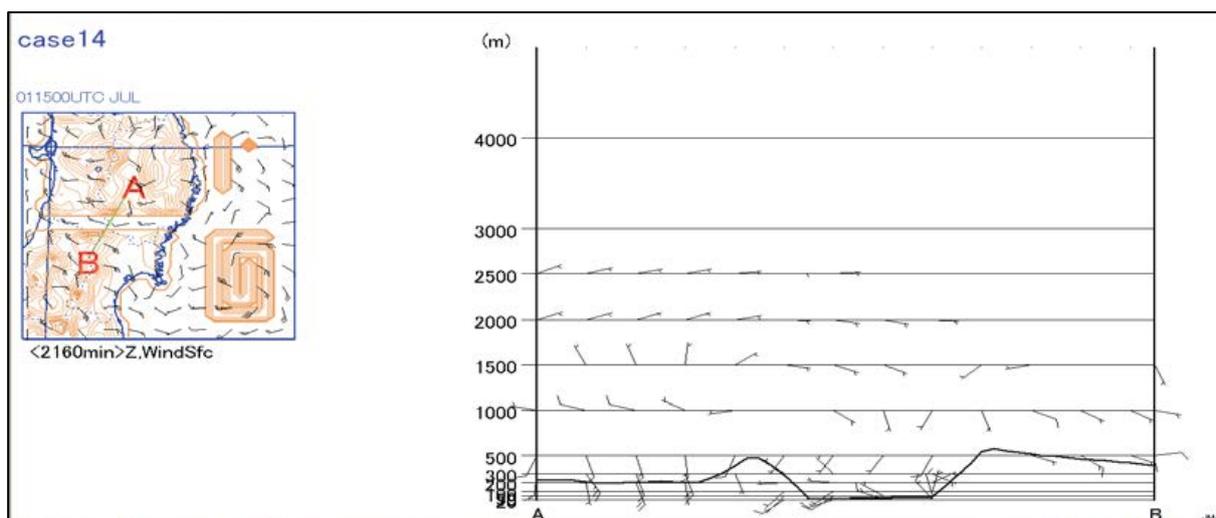


図 4-11 本州を横断する川と渦巻き島を作った実験結果

大きな川に風が入り込むだけだと思っていたが、入り込んだ風は川の上で渦をつくっていた。上昇しているところは奥羽山脈を横断したところであり、周りの壁の高さが風の上昇に影響していると考えられる。

③岩手県の隣に丸い島

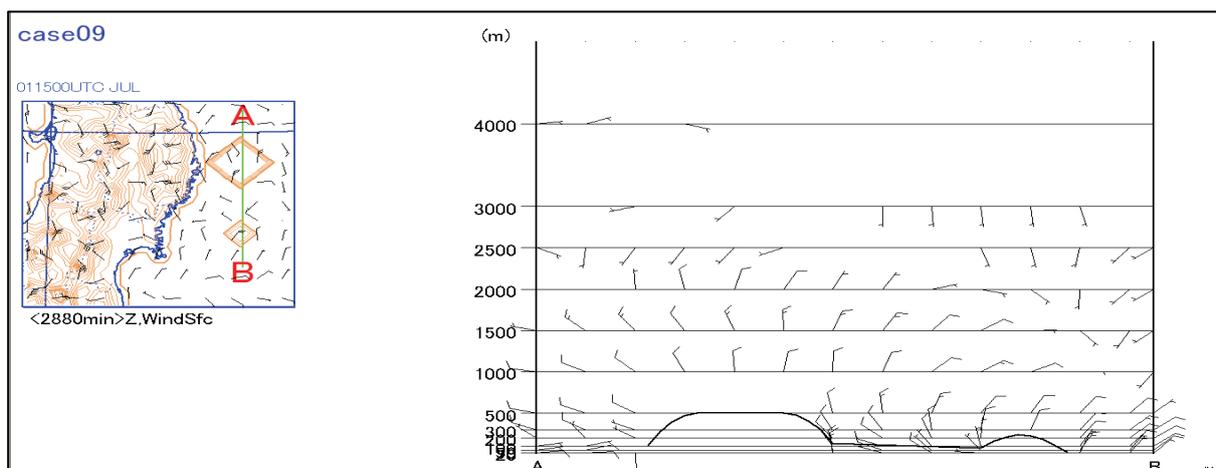


図 4-12 岩手県の隣に丸い島を作った実験結果

島と島の上に風が吹く様子が確認できた。2つの島の大きさや標高をそれぞれ変えたものしたが、島に沿って風が流れるのは同じであることがわかった。島と島との間の風速が若干ではあるが速くなっていることも確認できた。

④岩手県に大きな山を作り、隣に湖を作る

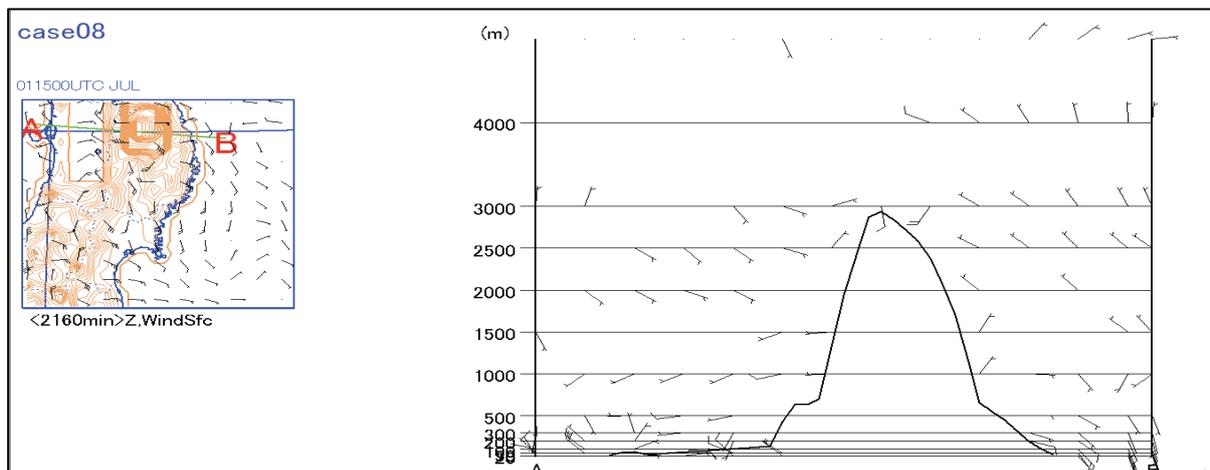


図 4-13 岩手県に大きな山を作り、隣に湖を作った実験結果

標高の高い山を作りましたが、元々同じところに山が存在していたこともあって、風向はあまり変わりませんでした。山の高さが高いほど風力も強いことがよくわかりました。

⑤「井上」湖と太平洋に岩手富士

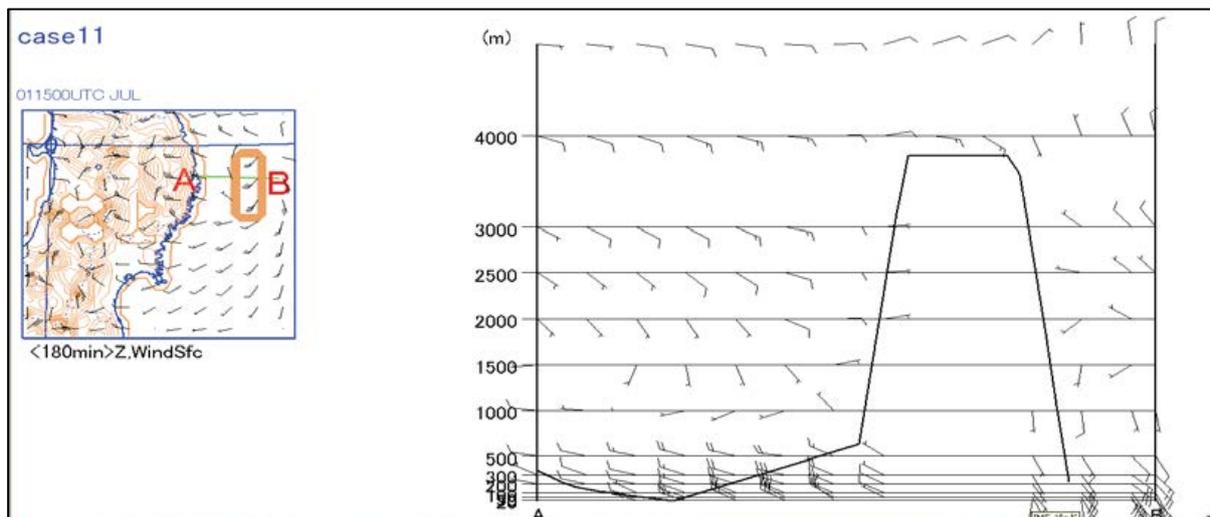


図 4-14 太平洋に岩手富士山を作った実験結果

岩手富士ができたおかげで岩手富士をよけた風向になった。「井」の部分はあまり変わらなかったが、上のところが湖のおかげで、奥羽山脈のところでは風向が変化していたのが、海風のままの風向になっている。

※何度実験をかけても 180 分後までしか計算できなかったため、180 分後の結果を表示する。

⑥奥羽山脈を潰して湖を作る

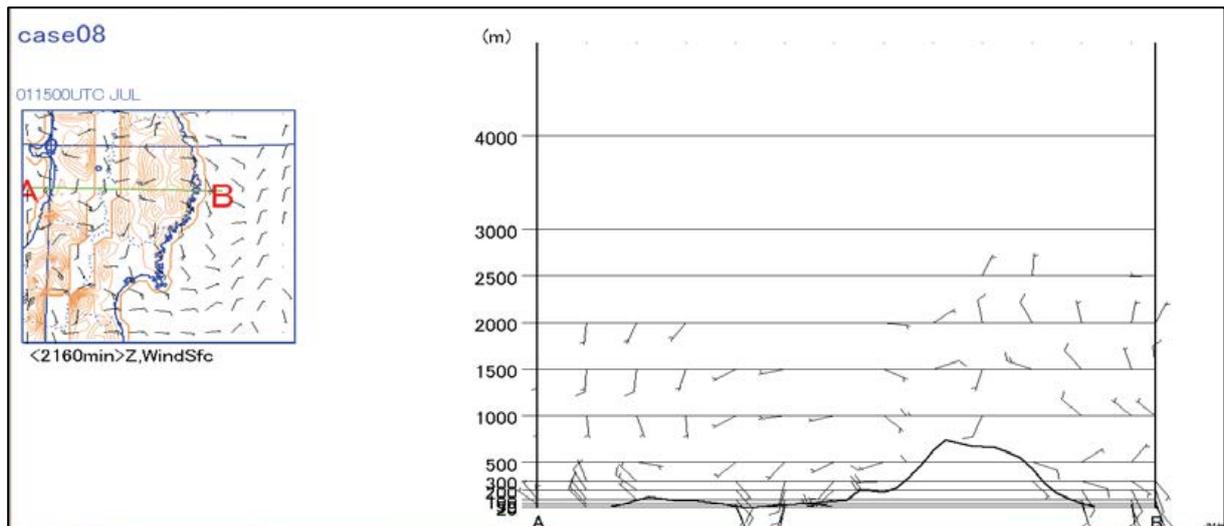


図 4-15 奥羽山脈を潰して湖を作った実験結果

元の地形では、山脈によって風が高度 3000 m 以上のところまで上がっていたが、作った地形では高い山を削っていたので高いところの風が少なかった。海風が吹くのと同時に中心の湖から陸に向かって風が吹いていた。

⑦東北全体を山にしてみる

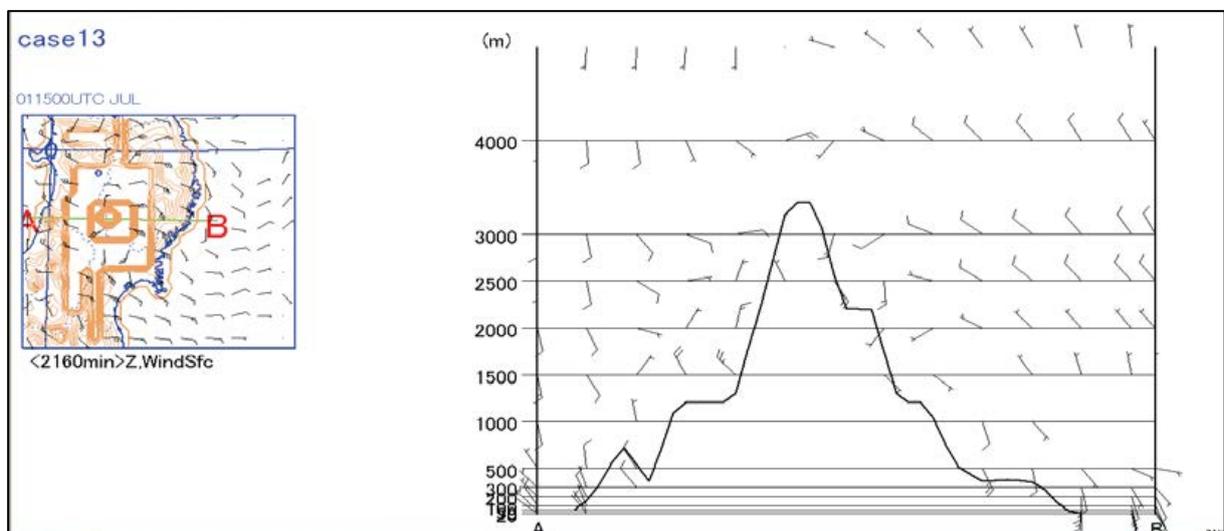


図 4-16 東北全体を山にした実験結果

段階的に山の形を作ったので、山の斜面を下る風でかけ上がる風とぶつかり合うと予想したが、その境界らしきものは 1200 m 付近で確認できた。そして、境目の風は強い。海陸風は時刻変化による風向の変化は確認できたが、山周りの風向の変化はあまり見受けられなかった。基本的な風向は太平洋側から日本海側に流れているのが確認できた。

以上のように、実際の地形における風向・風力と、自分たちの作った地形における風向・風力を比較して考察していた。

しかし、大きな山を新たに作成した④⑤⑦の結果は、斜面に沿って吹く山谷風の影響が大きくなってしまい、海陸風の変化に着目することができていなかった。また、⑤の結果は格子間隔が広くて格子数が少ないという、比較的粗い領域設定であるにも関わらず、細かい地形を作成しようとしたため、思っていたような地形を結果として表示することができず、計算も途中で止まってしまう結果となった。このことから、自由に地形を編集させて実験させる時は、ある程度制約をつけて実験させる必要があるとわかった。

一方で、④⑥のように、元の地形に湖や大きな河川を作成した実験結果では、湖と陸の温度差によって吹く、湖陸風が確認できる。⑥の実験を行った学生は、湖陸風が吹いていることに気づき、考察（まとめ）に記入することができていた。②の実験も新しく河川を作成しているが、もともと海陸風が吹いている方向（東西方向）に河川を作成したためか、新たな水と陸の境界に風が吹いている様子を確認することができなかった。

また、①③の実験のように新たに島を作ることによって、その島にも海風が吹いているのを確認することができた。しかし、どちらのグループの学生も、考察で海陸風（海風）について触れていなかった。

このことから、元の地形（陸地）のどこかに湖を作ったり、海上に新たに島を作ったりすることによって、海陸風が起こる原因である水と陸の温度差に着目することができるのだと考える。つまり、学生や生徒が海陸風に関する考察ができ、理解を深められるようにするためには、新たに海（湖）と陸が接するような地形を作るのが有効的であるのだと改めてわかった。

4. 2 プレテスト・ポストテスト統計分析結果・考察

4. 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海陸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。

4. 2. 1 問題内容

プレテストとポストテストの内容は、中学生の実践で実施したものと同一ものを使用した（表3-3、表3-4参照）。

4. 2. 2 テスト結果・統計分析結果

プレテスト・ポストテストの各クラスの授業に係る15項目の平均点は、表4-2の通りである。

表4-2 学生の平均点（15点満点）

	プレテスト（点）	ポストテスト（点）
学生（n=14）	11.9	12.4

プレテストの平均点に比べて、ポストテストの平均点は0.5点高くなっている。授業前後で有意差があるのかを、ウィルコクソン符号順位和検定を用いて有意差があるか検証した。その結果が以下の通りである。

表4-3 授業前後の理解度の検証

	有意差	同順位補正 Z値	Z値境界値 (0.975)	同順位補正P値 (両側確率)
学生（n=14）	なし	-0.626	1.96	0.531
		$-0.626 < 1.96$		$0.05 < 0.541$

検定を行った結果、授業前後で有意差がないということがわかった。15項目全体だと授業前後に差がないという結果となったが、設問によっては有意差がある項目があるかもしれないと考え、設問ごとにウィルコクソン符号順位和検定を行い、授業前後に有意差のある内容があるのか検証することにした。以下に検証結果を示す。

表 4-4 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 (両側確率)
2. 海陸風の日変化について	なし	<u>-1.41</u>	1.96	0.157
		<u>-1.41 < 1.96</u>		0.05 < 0.157
4. 地形による海陸風の変化について	なし	<u>-1.00</u>	1.96	0.317
		<u>-1.00 < 1.96</u>		0.05 < 0.317
5. 海陸風が起こる原因について	なし	<u>-0.707</u>	1.96	0.480
		<u>-0.707 < 1.96</u>		0.414
8. 数値実験の不安定について	なし	<u>-0.816</u>	1.96	0.05 < 0.414
		<u>-0.816 < 1.96</u>		0.00449 < 0.05
9. 気温上昇に伴う将来の気温の求め方	なし	<u>-1.00</u>	1.96	0.317
		<u>-1.00 < 1.96</u>		0.05 < 0.317
10. 気温低下に伴う将来の温度の求め方について プレテストもポストテストも全員 15 点 (満点) だった。つまり、有意差はない。				
11. 天気予報の精度について	なし	<u>-0.577</u>	1.96	0.563
		<u>-0.577 < 1.96</u>		0.05 < 0.563
12. 気象庁が発信している情報について プレテストもポストテストも全員 15 点 (満点) だった。つまり、有意差はない。				
13. 気象観測データの取得について	なし	<u>-1.00</u>	1.96	0.317
		<u>-1.00 < 1.96</u>		0.05 < 0.317
14. 観測データの重要性について	なし	<u>-1.73</u>	1.96	0.0832
		<u>-1.73 < 1.96</u>		0.05 < 0.0832
15. 気象状態の求め方について	なし	<u>-1.63</u>	1.96	0.102
		<u>-1.63 < 1.96</u>		0.05 < 0.102
16. 天気予報が作成される仕組みについて	なし	<u>-1.73</u>	1.96	0.0832
		<u>-1.73 < 1.96</u>		0.05 < 0.0832
17. PC の処理能力について	なし	<u>-1.00</u>	1.96	0.317
		<u>-1.00 < 1.96</u>		0.05 < 0.317
18. 数値実験の再現性について	なし	<u>-0.378</u>	1.96	0.705
		<u>-0.378 < 1.96</u>		0.05 < 0.705

19. 数値実験の時間間隔や格子間隔について	なし	<u>-1.00</u>	1.96	0.317
		<u>-1.00</u> < 1.96		0.05 < 0.317

以上の結果から、15項目すべての項目で授業前後に有意差がないという結果となった。つまり、ポストテストの問題内容に関する理解は深まらなかったと言える。

4. 2. 3 考察

全設問・各設問対象の検定をしても、授業前後に有意差が得られなかった原因として、ポストテストの内容と授業内容があまり一致していなかったことが考えられる。授業を行う前に、授業で学生（生徒）に理解させたい内容を明確にし、その内容に沿った授業を作成するとともに、プレテスト・ポストテストの内容を検討することで、授業前後の有意差を検証することができるのだと考える。

しかし、負の有意差があった項目もなかったため、授業をしたことによって数値実験や海陸風に関する誤概念を与えることもなかったと考えられる。また、正の有意差はなかったものの、平均点がわずかに上がったことから、授業を通して理解が深まったこともあったのだと考える。

4. 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、授業を通して学生が理解できたことや感じたことを明らかにする。

4. 3. 1 アンケート内容

5段階評価アンケートの内容は、表4-5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4-5 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	天気予報が作成される手順は理解できましたか？	仕組理解
5	観測データ（初期値）の重要性を感じましたか？	観測大事
6	気象庁の役割や必要性が十分にあると思いましたか？	存在必要
7	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
8	シミュレーションの設定（初期値設定）の入力操作は簡単でしたか？	設定操作
9	学習プリントやマニュアルなどの補助プリントは、学習内容を理解するのに役立ちましたか？	教材役立
10	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
11	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
12	多画面平面図（計算結果）の操作は簡単でしたか？	結果操作
13	電子黒板での説明はわかりやすかったですか？	説明理解
14	様々な数値シミュレーションをもっとやってみたいと思いましたか？	予報興味
15	授業を通して、海陸風（循環）の理解は深まりましたか？	現象理解
16	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
17	今回の授業は、総合的にみて満足できるものでしたか？	授業満足

4. 3. 2 アンケート結果

表4-5のアンケートのそれぞれの項目に対して、学生に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。5段階回答率のアンケート結果グラフ（図4-17）を以下に示す。項目の並び順は、授業満足アンケートの項目順ではなく、5の割合が多い項目から順に並べている。ただし、総合的な評価である「授業満足」の項目のみ、別な項目と区別するために最下段に表示している。また、中学生のアンケート結果と比較するため、73頁の図3-27を少し改訂したものを図4-18に示す。

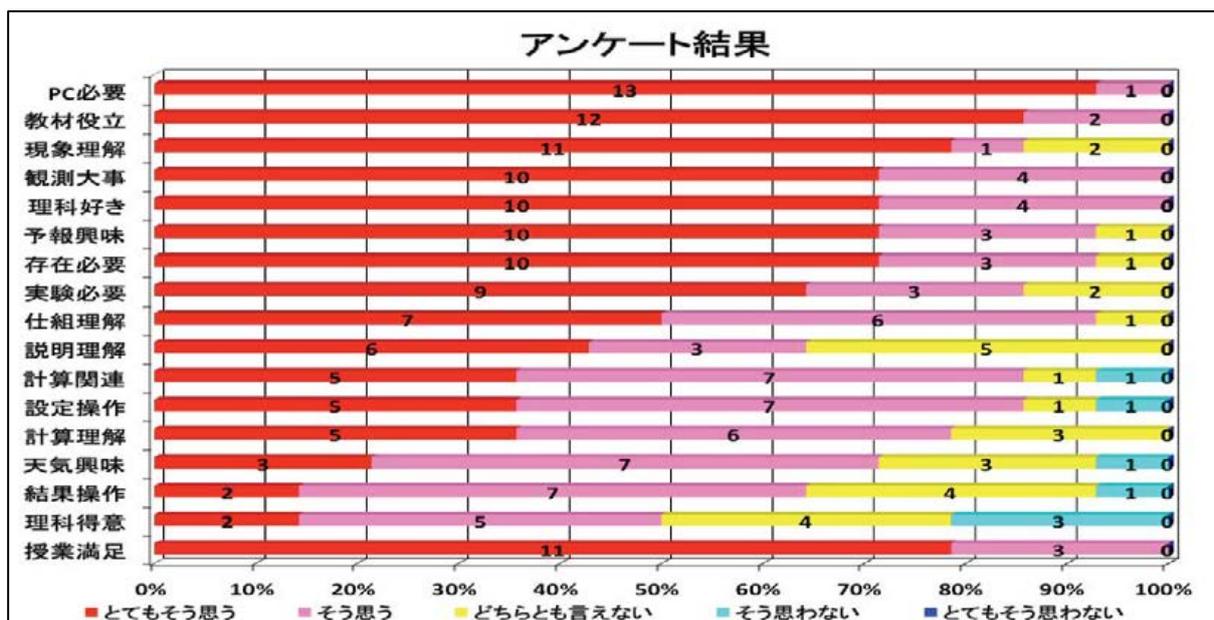


図4-17 5段階回答率 (n=14)

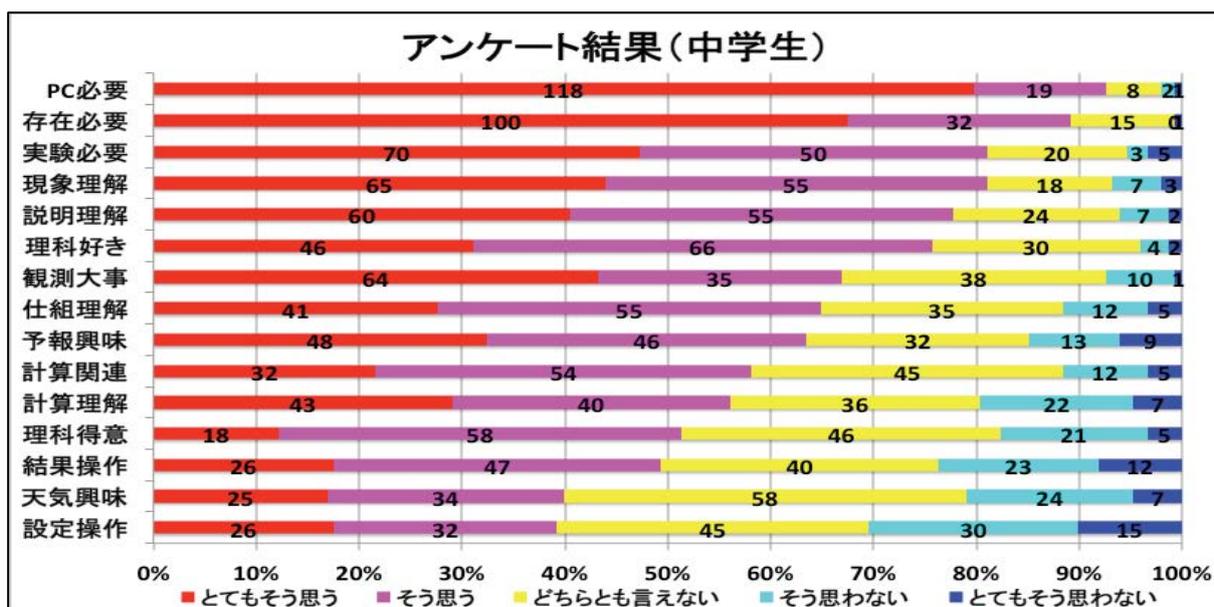


図4-18 5段階回答率 (n=148)

図4-17を見ると、「PC必要」「教材役立」「授業満足」の項目は、全て肯定的な回答となり、この3つの項目の満足度が高かったことがわかる。また、中学生の結果（図4-18）と比較すると、「予報興味」の項目で肯定的に回答する割合が高くなっていた。このことから、自分たちで地形を編集することによって数値実験に対する興味・関心が高まったのだと考える。また、「現象理解」の項目に対する肯定的な回答が多いことから、授業の目的である海陸風の現象を理解することができたと言える。さらに、中学生の結果で肯定的な回答が5割程度にとどまった「計算関連」の項目に対して、8割の学生が肯定的な回答をしていることから、手計算と条件設定の操作を関連付けて説明すれば、数値実験の仕組みを理解させられることがわかった。

一方、全体的に肯定的な回答が多い中、「結果操作」「説明理解」の項目に対して約4割の学生は肯定的な回答をしていなかった。中学生の結果を見ても同じ項目に対して肯定的な回答が少なかったことから、私の説明不足で理解できなかった内容があったことや、大学生でも多画面平面図を操作するのは少し難しいと感じていることがわかった。

4. 3. 3 CS分析結果・考察

アンケート結果から、学生が授業全体に対する満足度が高く、海陸風循環について理解できたことが分かった。さらに授業の満足度を高めるためにはどのような項目を改善すればいいのかをCS分析を用いて改善度を求める。CS分析の目的関数を、5段階評価アンケートの16問目の「授業満足」とし、説明関数を他の質問項目とした（図4-19）。

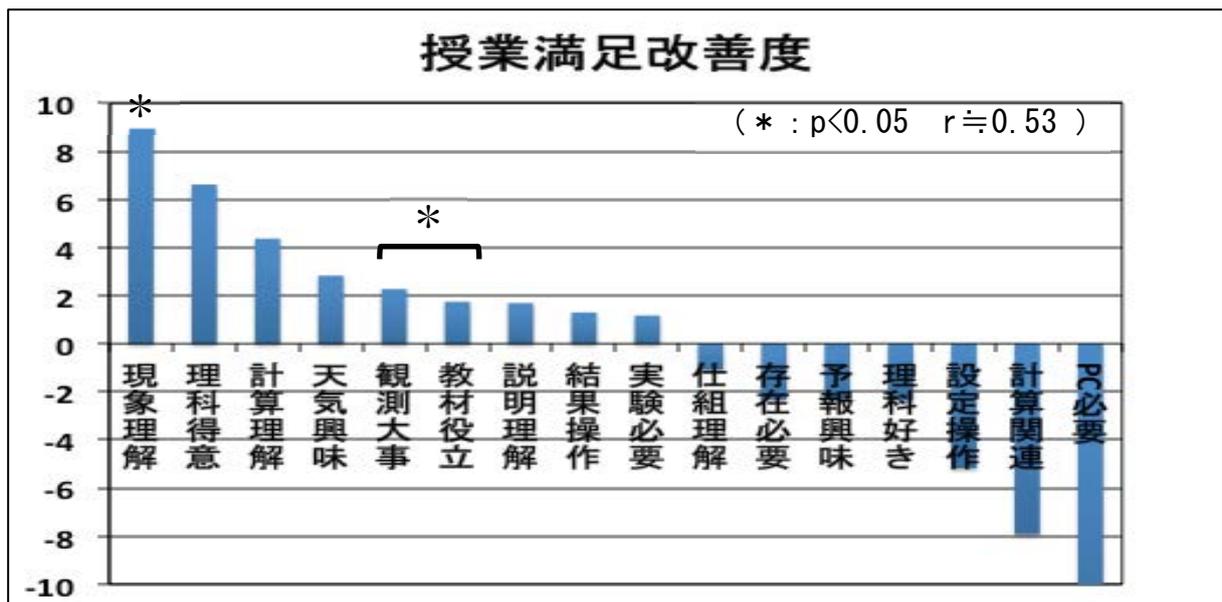


図4-19 授業満足改善度グラフ (n=14)

5段階回答率では肯定的な回答が多かった「現象理解」が、最も改善度が高いという結果となった。このような結果となったのは、海陸風の現象を理解するために実験結果で着目すべきところを事前に伝えなかったため、海陸風に関する考察があまりできなかったのだと考える。実験結果を見るときに、今回の授業の目的を改めて確認し、海陸風に関する考察をもっと深めさせる必要があったと考える。また、計算理解の改善度も高いことから、移流方程式を計算する方法、もしくは理解しやすくなるような教材を作成することが必要であると考え。

一方、「PC必要」の項目の改善度がとても低い結果となったのは、移流方程式で将来の温度を手計算で求める大変さを実感したからであると考え。さらに、「計算関連」「設定操作」の項目の改善度が低い結果となった。条件設定の値を入力する際に1つ1つの設定の意味を確認しながら入力したため、設定しやすかったと感じただけではなく、格子概念を理解することができたのだと考えられる。

また、海陸風循環の理解を深めるための改善点も同じくCS分析で求めた。目的関数を15問目の「現象理解」とし、他の項目（「授業満足」を除く）を説明関数とした（図4-20）。

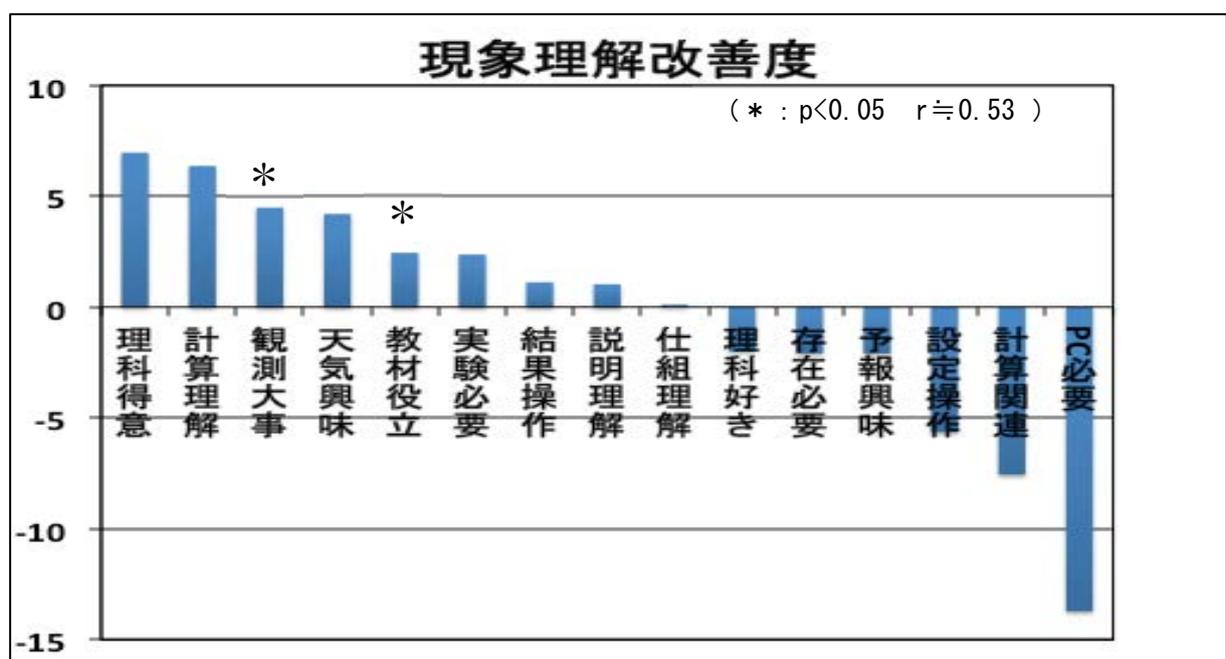


図4-20 現象理解改善度グラフ (n=14)

「現象理解」を目的関数にしても、図4-19の結果と同様に「計算理解」の項目の改善度が高い結果となった。このことから、移流方程式の説明や計算方法などを見直していかなければならないことが明らかとなった。また、「教材役立」の項目

は相関が強く、改善度がやや高い項目であるため、授業で使用する補助教材を改善していく必要があるのだと考える。

改善度の高い項目が図4-19 とほぼ同じ結果になったように、改善度の低い項目に関してもほぼ同じ結果となった。つまり、今回も改善度の低い項目となった「PC 関連」「計算関連」などに関しては、学生が十分満足することができたのだと考えられる。

4. 3. 3 自由記述アンケート結果・考察

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4-6 に示す。

表4-6 記述分類コード

1. 授業（での説明）がわかりやすかった	8. 数値実験の考察が大変だった
2. 授業内容が楽しかった・面白かった	9. PC の必要性がわかった
3. 移流方程式の計算が大変だった	10. 気象に関する理解が深まった
4. 数値実験を行う必要性・重要性がわかった	11. 海陸風（循環）の理解が深まった
5. 数値実験が楽しかった・面白かった	12. 天気予報を作成する仕組みがわかった
6. 数値実験に興味を持った	13. 授業でわからなかったことを自分で勉強したい
7. 数値実験をもっとしてみたい	14. 生徒が興味を持つ・楽しめると思う

4. 3. 4 自由記述アンケート結果・考察

学生が記述した内容と、それを分類コードにそれぞれ分けたものを表4-7 に示す。

表4-7 自由記述アンケート結果

シミュレーションは、もしこんな風に地形が変わったらどうなるのだろうかかと生徒に考えさせることができるし、生徒の興味を引くと思う。また、実験内容が面白く、パソコンを使うため、理科嫌いの生徒も楽しんでできると思った。	14、5、 14
これまで見るだけだった平面図や風向きの様子などを自分の好きな位置・場所をシミュレーションすることにとっても興味が持てた。また、分からないなりに自分たちで理由を推論するのが楽しかった。風の循環のしくみについて以前よりも理解が深まった。自分で分からない所をもっと調べてみたくなりました。	6、5、 11、13

海陸風について少し理解することができました。自分で地形を作って、それによってどう風が変わるのかを考え、またその理由を自分なりに考えることができました。なぜこのように風が吹くのかはよく分からなかったのですが、あとで調べようと思います。はじめ、数値実験は難しいと思っていましたが、内容を分かりやすくしてくださったため、私でも理解することができました。	11、13、 2、1
局地的に変化する場合が多く見られ興味が持てた。さらに大きな規模で風向・風力が変化するのはどのような場合か考えてみたい。	6、13
地形を変形させて、風向がどのように変わるかというような実験・検証を行った。とても新しいので面白かったです。今度は雲の動きなどをシミュレーションしたら面白いと思いました。	5、7
あり得ない地形を再現できるので、とても楽しかったです。自分の知りたい内容を調査できるので、印象深く大変勉強になりました。私が中学生だったときにぜひこのような実験をやりたかったです。	5、6、 14
コンピュータの計算処理能力が具体的にどの程度優れているのかを知る良い機会となりました。また、いくつかの数値をもとに天気を予報する仕組みを知ることができた。忘れかけていた天気図の見方など、中学校向けの教材を実際に体験することによって、いろいろと思い出すこともあり、とても充実した時間になりました。	9、12、 10
偏微分方程式を聞いた時は、もう難解なイメージしか湧かなかったが、四則演算の手順が丁寧に記されていて、分かりやすく内容もスッと入ってきました。パソコンを使った数値実験も割と好きなように条件を設定できて楽しく授業を受けることができました。そこから得られた結果から、情報を得るのが少し難しく感じましたが、パソコンのソフトなので便利で様々な角度から見ることもできるので、単に文明の発展を感じました。僭越ですが、研究頑張ってください。	1、5、 8、9
様々なパターンのシミュレーションを見ることができて面白いと思いました。岩手県だけで島を作ったり、名前を作ったり、自分にももっと発想力があったら面白いことができたなと思いました。今回、電卓も使用して自分でも計算を行ってみました。とても難しいと思いました。複雑な計算を短時間でこなしてしまうコンピュータは本当にすごいと思いました。	5、7 3、9

<p>数値を入れることによって気象をシミュレーションできるということがすごいと思った。気象はスケールが大きいので、今回のように教室で天気のことを文字や写真だけでない方法で学べる生徒がうらやましいと思う。気象については中学校で学んだきりで、そのときは座学のみだったので、今回の授業はとても面白かった。</p>	<p>4、14、 2</p>
<p>自分が考えた地形でシミュレーションできるのは面白かったですし、他の人の豊かな発想のシミュレーション結果を考察してみるのも興味深かったです。計算を自分でやってみるということも理解をする上で手助けにもなりました。</p>	<p>5、2</p>
<p>気象予報は、簡単にはできないことを学びました。しかし、逆に昔の人はどうやっていたのか、という疑問が残りました。また、降水確率とかの予測の仕方もこのようにできればいいなと思います。あと、海陸風が循環しなくなる条件を調べてみたいです。</p>	<p>12、13、 7</p>
<p>初めて数値シミュレーションを行ったが、非常に簡単な操作で様々な地形での様子を観察することができて楽しく学ぶことができた。また、海陸風についての理解を深めることができた。いろいろな条件での数値シミュレーションをやってみたいと思った。</p>	<p>5、11、 7</p>
<p>数値シミュレーションは人生初体験でした。前半に手計算を行うことでコンピュータのありがたみを感じ、スーパーコンピュータの次元が違うことを身を持って感じた。後半では自由に地形を変化させ、海陸風循環の様子を観察した。岩手を島にした場合、北南の風が変形前に比べてきれいに流れているように感じた。また、地形を変形すると、上空の風が表示されなかった。これは周囲の陸がなくなったことに関係があるのだろうか。また、様々な地形を試してみたい。非常に楽しい授業でした。ありがとうございました。</p>	<p>9、7</p>

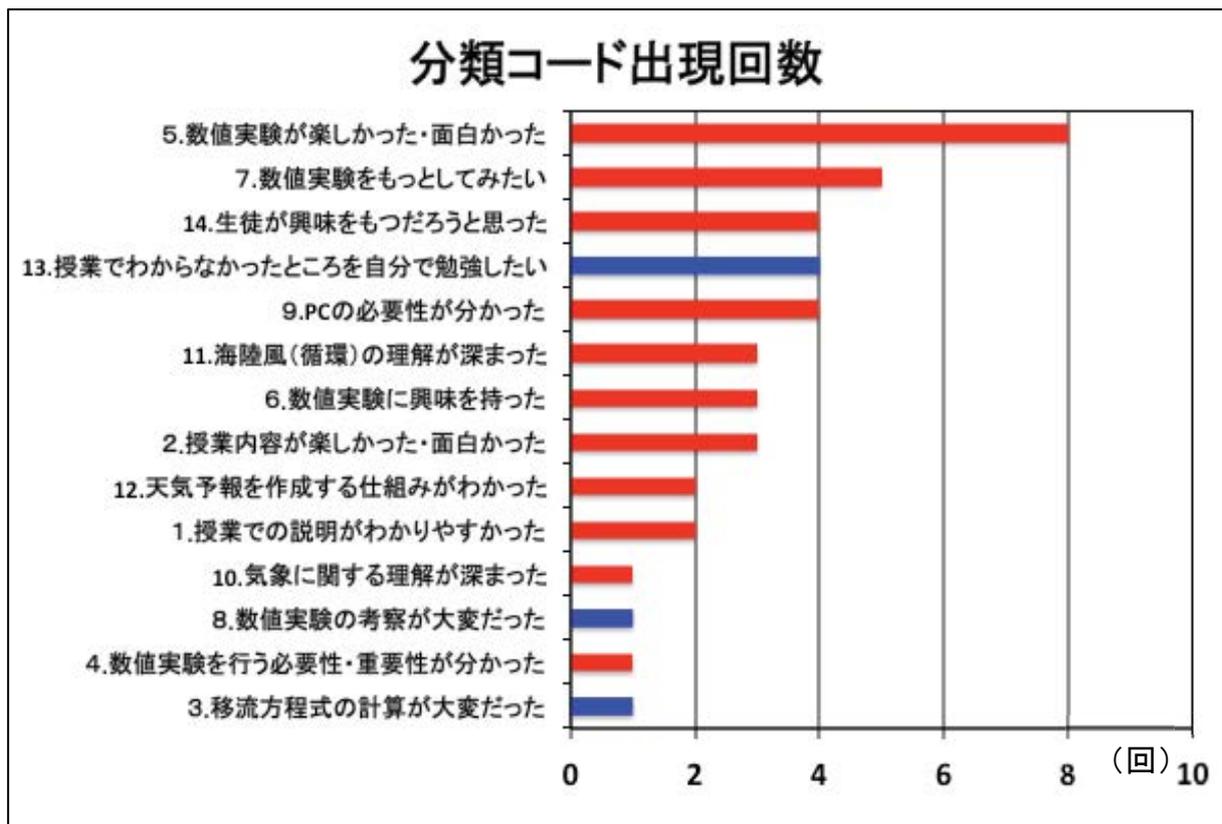


図 4-21 記述アンケート分類結果 (n=42)

学生が記述した内容(表 4-7)を、分類コードにそれぞれ分けていった結果が図 4-21 である。記述量が多い分類コード順に並び替えている。

この結果を見ると、「数値実験が楽しかった」「数値実験をもっとしてみたい」という記述が多くあり、学生の数値実験への興味・関心を高められたことが明らかとなった。実験で用いる地形を自分で考えて数値実験を行い、その実験結果についてみんなで考察し合うことによって、学生の数値実験に対する意欲が高まったのだと考える。また、「海陸風循環の理解が深まった」という記述もあったことから、ただ数値実験をするのが楽しかっただけではなく、現象の理解を深めるのに数値実験が役立っていたことがわかった。

一方、「授業でわからなかったところを自分でも勉強してみたい」や「数値実験の考察が難しかった」という記述もあった。学生に自分たちで特殊な地形を考えてもらったのはいいが、予想を立てる時間もあまり設けずにその地形における海陸風について考察したため、学生の考えを深めることができなかつたのだと考える。このことから、現実に存在している、似たような地形の気象現象を参考にするなどして、どのような現象になるのかを予想してから結果を見ることで、考えを深めることができるのではないかと考える。

4. 4 結論

大学生を対象にした授業では、学生自身が考えた地形でシミュレーションをすることができたため、数値実験や数値予報への興味・関心を高めることができた。また、数値実験の条件設定で入力する内容と手計算で用いた内容を比べることで、時間間隔や領域間隔などといった格子概念について理解することができ、数値実験の仕組みも理解することができた。さらに授業後のアンケートから、学生たちは海陸風循環について理解できたことが明らかとなった。

一方、学生の実験結果の考察を見ると、実験結果に対して学生自身が納得のいくような原因を明らかにできていなかったことや、「海陸風」に関する記述が少なかったという結果になった。また、電子黒板の説明のわかりやすさについて、授業アンケート結果の肯定的な回答が少なく、改善度グラフを見ても改善度が高いことが明らかになった。以上のことから、今回の授業では、結果に対する適切な説明や授業の目的を学生に対して明らかにすることができていなかったため、学生の理解度を十分に高めることができなかったのだと考える。

第5章 「NHM 統合環境」を教材として利用した

授業の成果と課題

5. 1 授業全体の成果と課題

授業の成果として、数値積分の基本概念の学習では、移流方程式を手計算で解くことによって、数値実験（数値予報）の仕組みを体験させることができた。計算が難しいと感じた生徒・学生が多かったものの、手計算の大変さを実感することによって、数値実験やPCの必要性を実感することにつながったと言える。また、生徒や学生自らが条件設定をして数値実験の結果が出すことができ、結果について考察できたという数値実験の経験そのものが、生徒や学生の成功感につながったと考える。

課題は、移流方程式の計算方法を簡略化し、数値実験の仕組みを十分に理解させることである。手計算で将来の温度を求める大変さは実感してほしいと思っているが、計算を最後まで解くことができなければ、将来の温度が周りの温度に影響されて変化していることを理解することはできない。計算をスムーズに進められる教具などを考案する必要がある。

5. 2 「NHM 統合環境」を教材として用いた成果と課題

成果は、様々な角度から地形による海陸風の変化を見ることができたため、生徒・学生は海陸風循環のメカニズムについて理解できたことである。また、大学生対象の授業では、学生が自由に地形を編集したことによって数値実験や数値予報への興味・関心を高めることができた。中学生対象の授業では、もともと気象に興味を持っていなかった生徒が多かったが、授業を通して理科や気象に対する興味を高めることができた。

課題は、「NHM 統合環境」の条件設定や多画面平面図の操作が難しかったという生徒・学生が多かったことが挙げられる。操作の意味や方法を理解しながら、条件設定を行い、実験結果を見ることができる、新たなインターフェースの作成、もしくは補助教材を用意する必要がある。

以上までのことから、「NHM 統合環境」を教材として用いた授業では、授業の目的である「海陸風の現象理解」はおおよそ達成できたが、「数値実験の仕組みの理解」は十分に達成できなかったと考える。しかし、授業全体を通して様々な教育効

果を得ることができたと考える。

一方、「NHM 統合環境」の大きな課題として、このソフトは岩手大学内（附属中学校まで）の使用許可をもらっているため、公立学校で数値実験を行うことができないことがあげられる。そこで、フリーの数値実験モデルを用いた新しい数値実験教材を開発し、その教材を用いて公立学校で授業を行うことを考えた。

第Ⅱ部では、新しく開発した数値実験教材の概要と、その教材を用いた授業実践について報告する。