

## 慶應義塾高等学校気象情報システム

財団法人日本気象協会 増田有俊・吉田 優

### 6.6.1 はじめに

(財)日本気象協会(以降、気象協会)は慶應義塾高等学校のSSH研究開発事業初年度において、最先端の気象予報技術を生徒に実体験させ科学技術への興味関心を高めるとともに、地球環境等に対する科学リテラシーの向上を目指す新たな教材の開発を目的として、慶應義塾高校と連携して、気象庁および気象協会が発表するリアルタイム気象観測・予報データおよび数値気象モデルを用いた慶應義塾高校独自の局地気象予報を校内で利用可能な慶應義塾高等学校気象情報システムを構築した。

### 6.6.2 システム構成

本システムは、3台のコンピュータと気象協会から慶應義塾高校へ各種気象情報を受信するネットワークおよび、高校内に向けて情報を発信するネットワークから構成される。各コンピュータ機能は次の通りである。

気象データサーバ：

気象協会が配信するリアルタイム気象情報を受信する。同サーバ上においては専用閲覧ソフト(MICOS Wit)を用いて詳細な各種気象情報を閲覧することが可能である。

Webサーバ：

慶應義塾高校の気象情報ホームページ(MICOS WitWeb)を作成し、専用端末よりは少ないものの詳しい気象情報を校内LANに接続されたコンピュータ上で自由に閲覧することを可能にしている。

気象モデル計算サーバ：

局地気象モデルによる予測計算を行うことにより、慶應義塾高校独自の詳細な気象予測を実施することが可能である。

各コンピュータのスペック及び機能を表6.8に、本システムの構成を図6.21に示す。

表 6.8 コンピュータスペック及び機能

項目	気象データサーバ	Webサーバ	気象モデル計算サーバ
OS	Windows2000 Server	Windows2000 Server	RedHat Linux
CPU	Pentium4 2.53GHz	Pentium4 2.8GHz	Xeon 3.06GHz×2
メモリ	1GB	1GB	4GB
ハードディスク	80GB	80GB×2	146.8GB×3
機能	MICOS 気象情報受信専用ソフトによる表示	作画処理 Webサーバ	GPV 受信 MM5 計算 & MM5 予測結果作画処理

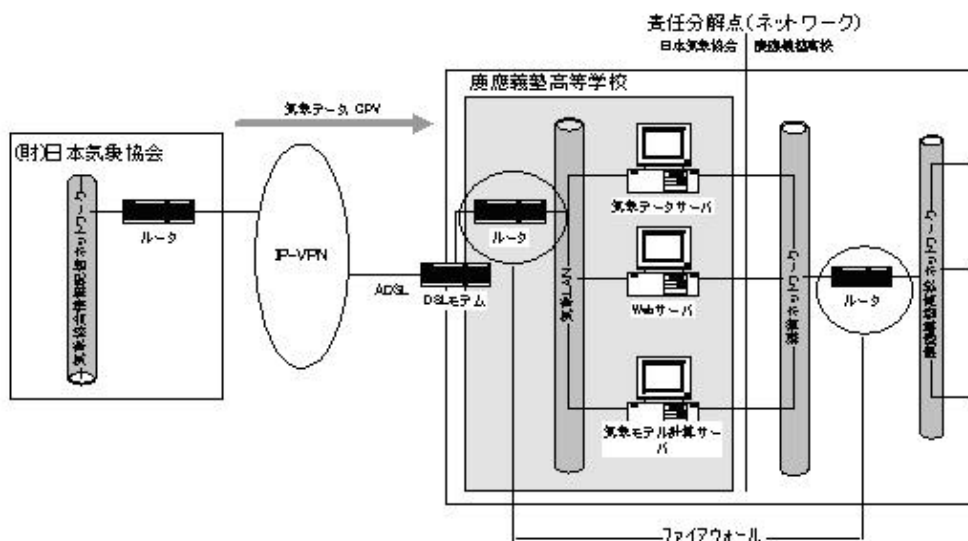


図 6.21 システム構成

### 6.6.3 配信気象情報

気象協会が配信する気象情報には、気象庁が発表する天気予報・地震情報などの一般的に利用されている情報をはじめ、波浪予測情報や航空気象情報、専門的な天気図と気象協会が作成した1時間毎のポイント予測情報やメッシュ予測情報など専門的な気象情報も多数含まれている。また、気象衛星画像、レーダー画像、アメダス観測、気象官署で観測されたデータについてもリアルタイムに提供されている。情報を提供する気象協会と慶應義塾高校とはIP-VPNで直接接続されているため、インターネットで一般に提供されている情報と比べて即時性・安定性に優れている。学校行事や部活動、屋外での授業実施の可否判断など、学校内における判断資料としても利用可能である。

#### MICOS Wit

気象協会からのデータを受信している気象データサーバには、詳細な気象データを閲覧するための専用ソフトウェア MICOS Wit がインストールされている。このソフトウェアでは気象データを読み込んで作画を行い表示する仕組みとなっており、図だけでなく数値や時間変化などを表示して詳しく調べることができる。

#### MICOS WitWeb

生徒が日常の学校生活の中で気象情報に触れ、活用できるようにするために専用Webページを作成し、利用頻度が高い気象情報を慶應義塾高校内LANに接続されているコンピュータで閲覧が可能である。

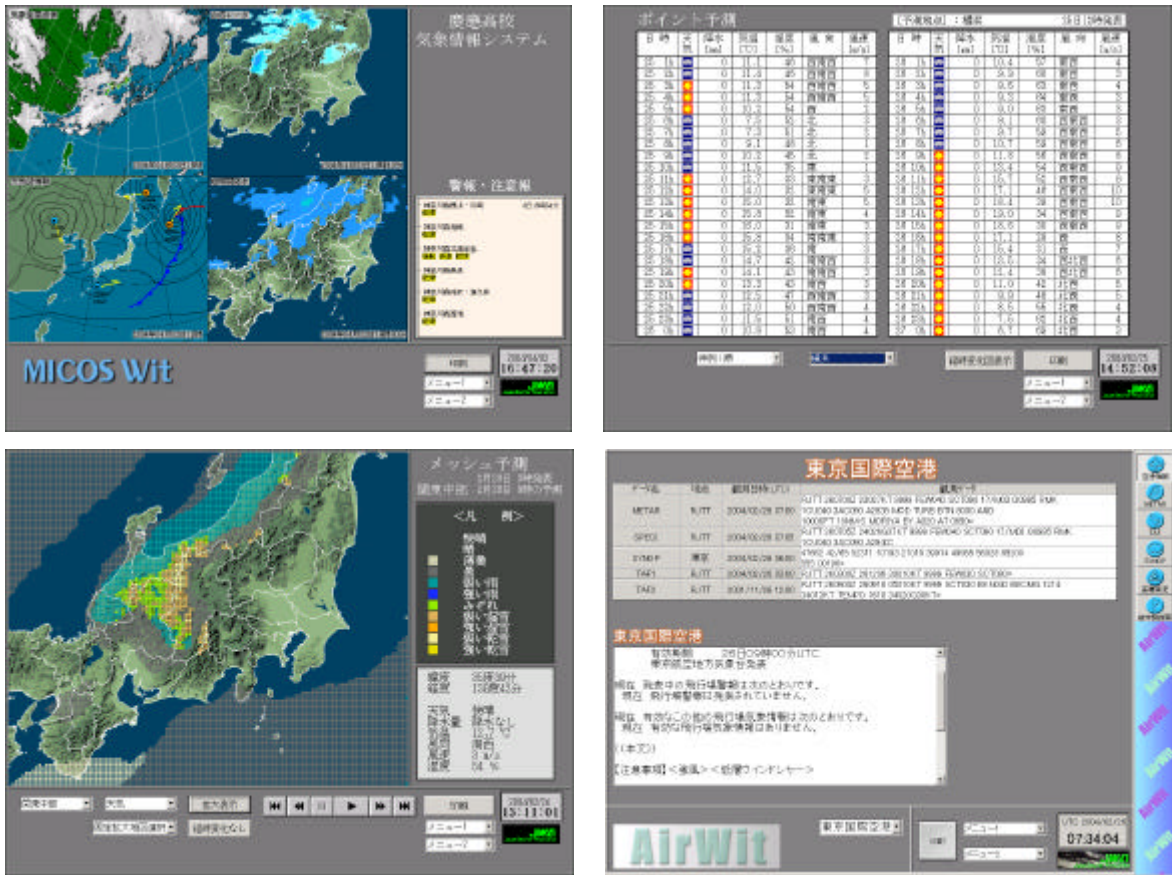


図 6.22 MICOS Wit の画面

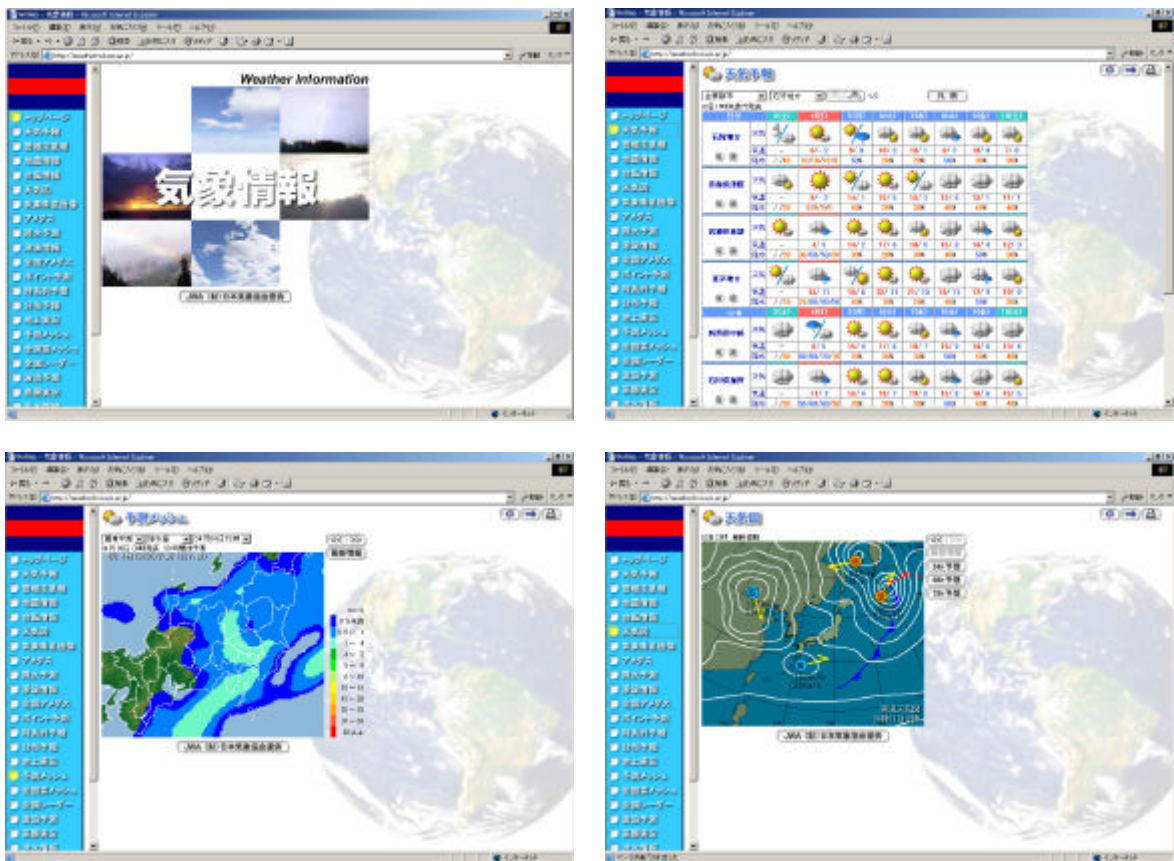


図 6.23 MICOS WitWeb の画面

#### 6.6.4 慶應義塾高校局地予報システム

現在の天気予報は、気象を支配する物理法則を表す微分方程式を、計算機を用いて数値積分を行うことによって将来の気象の変化を予測する数値予報と呼ばれる方法で行われている。気象を支配する物理法則を表す微分方程式やその他の気象法則を計算するためのコンピュータプログラムのことを「数値気象モデル」と呼ぶ。気象庁では、通常天気予報用に地球全体を対象とする「全球モデル (Global Spectral Model ; GSM)」とアジア域を対象とした「領域モデル (Regional Spectral Model ; RSM)」を1日2回運用しているが、空間解像度がそれぞれ約 60km、約 20km と粗いため、夏期の雷雨といった局地的な気象を予報することは非常に難しい。慶應義塾高校局地予報システムは、気象協会が FTP 配信を行う気象庁 GPV を用いて、関東地方を対象として、詳細な局地気象予測計算を高校独自に実施するものである。GPV とは、Grid Point Value の略称で、気象予測モデルの計算結果を格子点毎に与えている情報のことである。

慶應義塾高校内において気象予測計算を独自に行うことによって、一般に利用されている気象情報に比べて、時間的・空間的に詳細な予測情報を得ることができる上に、生徒に最新の気象予報技術や手法に触れる場を提供することができる。

##### 6.6.4.1 局地気象予測に必要なデータ (GPV)

局地気象予測計算を行うにあたっては、予測を開始する時刻における気象の状態(初期値)や予測を行っている期間中における予測実施領域の端の状態(境界値)が必要となる。本予測システムにおいては、予測の初期値及び境界値に気象庁 RSM による予測の GPV を利用している。本システムに提供されている RSM の概要を表 6.9 に、範囲を図 6.24 に示す。

表 6.9 RSM 概要

項目	内容
予測実施	1日2回(09時, 21時初期値)
予測期間	51時間先まで
格子間隔	約 20km
配信時刻	00Z : 15時頃 (JST) 12Z : 3時頃 (JST)
配信高度	地上, 950, 925, 850, 700 500, 400, 300, 200, 150 100, 70, 50, 30, 20, 10hPa
配信要素	海面気圧, 降水量, 雲量, ジオポテンシャル高度, 風, 気温, 湿度, 鉛直速度

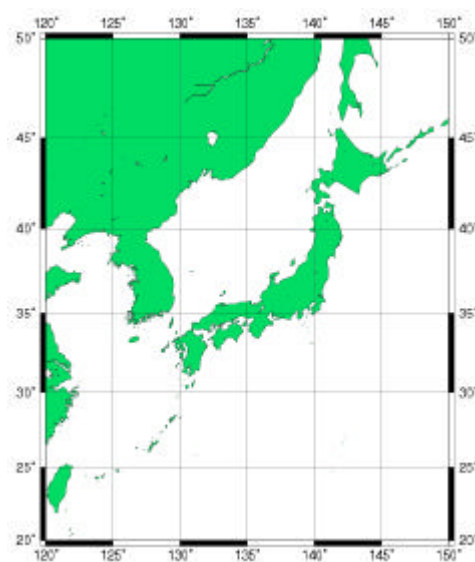


図 6.24 RSM 範囲

##### 6.6.4.2 システム概要

本システムでは、局地気象予報モデルとして米国の PSU<sup>3</sup>/NCAR<sup>4</sup>で開発されている非

<sup>3</sup> Pennsylvania State University ; ペンシルバニア州立大学

静力学・完全圧縮系の数値気象モデル MM5 V3.6<sup>5</sup>を使用している。MM5 は、非静力学モデルとしては世界中で最も有名なモデルの一つで、例えば韓国の気象局でも用いられている。インターネット上でプログラムソースが公開され、日々バージョンアップが繰り返されている。

MM5 の計算は、気象モデル計算サーバで実行する。気象モデル計算サーバの OS には RedHat Linux を用いている。MM5 は Fortran 言語で記述されたプログラムとして提供されているため、使用するにはコンパイル作業が必要となる。この作業に用いるコンパイラには Intel Fortran Compiler を利用した。

MM5 の予測計算範囲を図 6.25 に示す。本システムにおいては、2way のネスティング手法<sup>6</sup>を用いており、Domain 1 (親領域) の格子間隔が 15km、Domain 2 (子領域) の格子間隔が 5km と設定した。表 6.10 に計算スケジュールを、使用したモデルの設定を表 6.11 に、利用したデータを表 6.12 に示す。

慶應高校局地予報システムのフローを図 6.26 に示す。各モジュールについての説明は、次節以降で行う。

本システムは、15 分毎に最新データが入電しているかどうかをチェックし、最新 GPV の入電を確認すると、自動的に予測計算を開始する。このため何らかのトラブルで GPV の入電が遅れた場合にも、対応することが可能である。

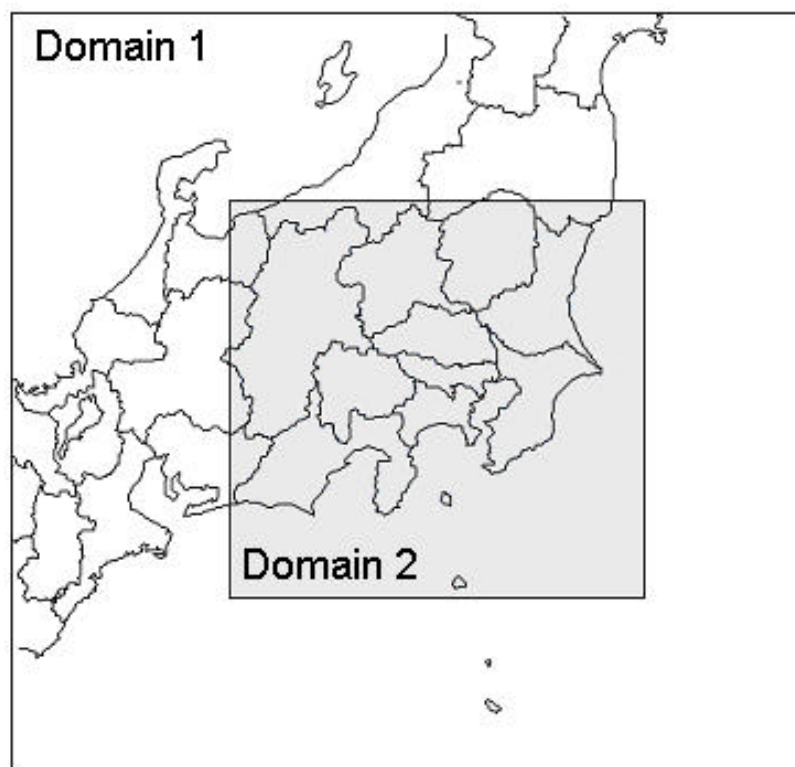


図 6.25 MM5 予測計算範囲  
( Domain1 : 計算格子間隔 15km、 Domain2 : 計算格子間隔 5km )

<sup>4</sup> National Center for Atmospheric Research ; 米国大気研究センター

<sup>5</sup> <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html>

<sup>6</sup> Domain2 の境界値として Domain1 の計算結果を用いるとともに、Domain2 の計算結果を Domain1 にも反映させる手法。前者だけの手法を 1way のネスティングという。

表 6.10 計算スケジュール

12Z初期時刻のGPVを用いた予測

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	..	12	..	18	..	24	..	6	..	12	..	18	
GPV入電																							
MM5計算				←	→																		
MM5予測期間							←	→															→

00Z初期時刻のGPVを用いた予測

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	..	24	..	6	..	12	..	18	..	24	..	6	
GPV入電																							
MM5計算				←	→																		
MM5予測期間							←	→															→

注) 予測期間が 36 時間の場合で、横軸が時間 (日本標準時) を示す。

初期時刻に示されている Z は世界標準時を表しており、12Z が日本時間 21 時に、00Z が日本時間 9 時に対応している。

表 6.11 モデルの設定値

項目	Domain1	Domain2
格子数 (東西 × 南北 × 鉛直)	46 × 46 × 23	70 × 70 × 23
水平格子間隔	15km	5km
タイムステップ	45 秒	15 秒
積雲対流	Grell	Grell
雲物理	Reisner graupel (Reisner 2)	Reisner graupel (Reisner 2)
境界層	MRF PBL	MRF PBL
放射	Cloud-radiation scheme	Cloud-radiation scheme
地表面過程	Five-Layer Soil model	Five-Layer Soil model

表 6.12 利用データ

項目	概要
標高データ	USGS 全球 2 分情報
土地利用情報	USGS 全球 2 分情報
陸 / 水判別情報	USGS 全球 2 分情報
海面温度	旬別気候値
積雪フラグ	月別気候値

#### 6.6.4.3 モジュール

MM5 を用いて気象予測計算を行う場合の各モジュールの概要について以下に示す。また、各モジュール用いた気象予測システム全体のフローを図 6.26 に示す。

##### TERRAIN

計算に利用する標高、土地利用、土壌カテゴリデータを作成する。計算範囲や格子間隔を変更する場合に、設定ファイルを編集してプログラムを実行する必要がある。

##### PREGRID

気象庁 RSM の予測値を読み込み、MM5 フォーマットに変換する。

##### REGRIDDER

PREGRID により作成された MM5 フォーマットの RSM データを読み込み、MM5 格子系に内挿する。

##### INTERPF

REGRIDDER による出力値（圧力座標系）を読み込み、MM5 の鉛直座標系（ 座標系）に変換する。また、境界値の作成も行う。

##### MM5

INTERPF で作成した初期値及び境界値を用いて、気象予測計算を実行する。設定ファイル（`configure.user` , `mm5.deck`）を変更することにより、様々な物理過程や予測時間等のオプションを選択することができる。

##### MM5READ

MM5 計算結果（`MMOUT_DOMAIN2`）を読み込み、結果の可視化のために必要な要素の切り出しや、 座標系から圧力座標系への内挿計算を実施する。

##### GMT

可視化ソフトウェアである GMT (Generic Mapping Tool)<sup>7</sup>を用いて予報結果の分布図やエマグラム及び時系列図の描画を行う。なお、エマグラム作成には北海道大学加藤氏の作成した `chart.pl`<sup>8</sup>を利用している。

GMT により出力される画像形式は PS (ポストスクリプト) 形式であるため、ImageMagick の `convert` コマンドを用いて Web ブラウザで表示が可能な PNG 形式に変換する。作成された PNG 画像は、FTP で Web サーバへ転送される。

#### 6.6.4.4 データのバックアップ及び過去計算

予報の精度検証や、特別な事例に関して再計算が行えるようにするために、各種データをバックアップしている。定常的にバックアップしているデータは、入力データである RSM (MM5 フォーマット) と出力データである GMT 描画用の編集済予測結果、ポイント予測値、計算結果画像である。

---

<sup>7</sup> <http://gmt.soest.hawaii.edu/>

<sup>8</sup> <http://radar.sci.hokudai.ac.jp/~kato/work/util/index.html>

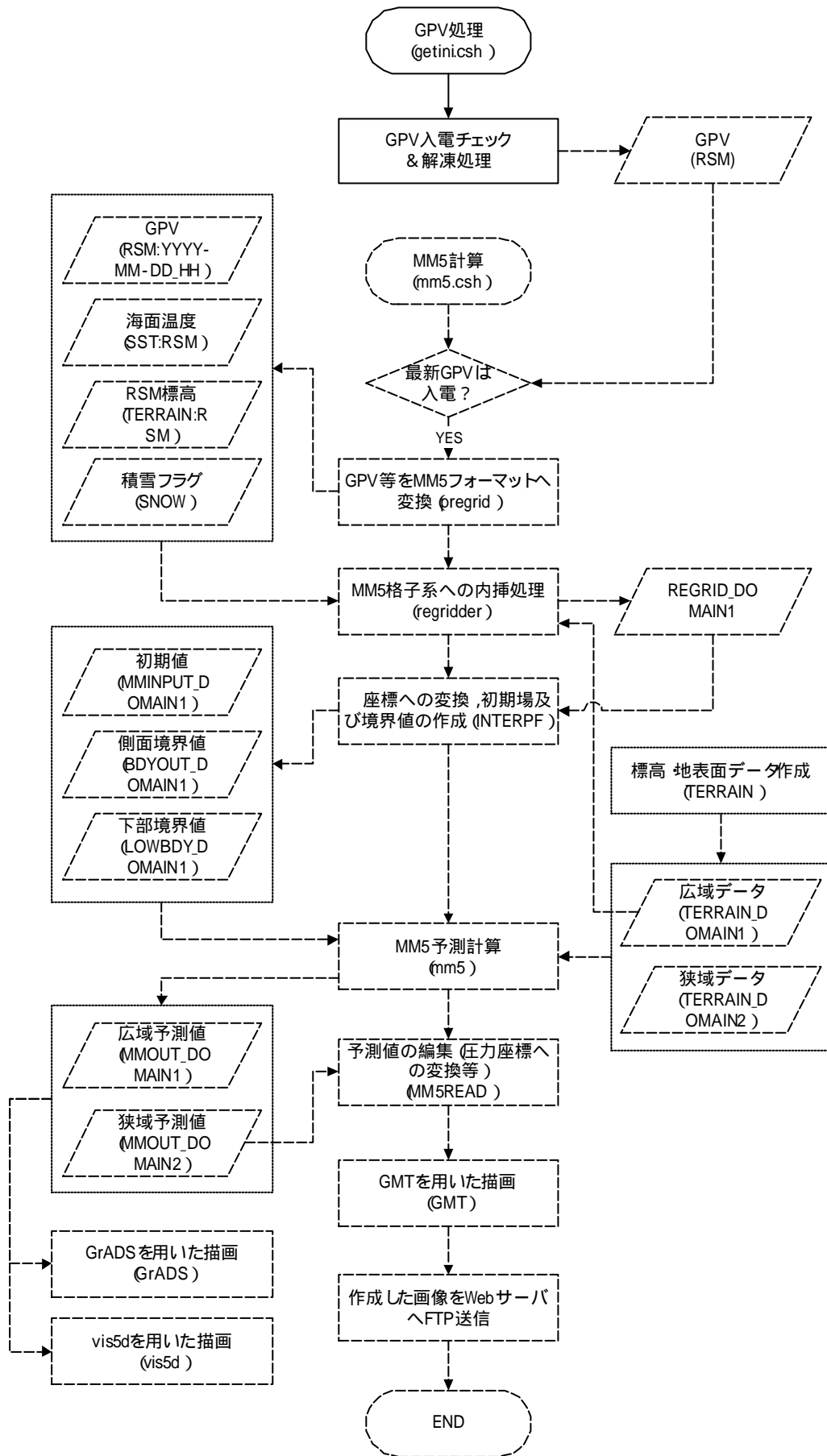


図 6.26 慶應高校局地予報システムフロー



表 6.13 描画要素一覧

表示タイプ	高度（ポイント）	要素
分布図	地上	海面気圧・風・降水量
	地上	気温・湿度
	850hPa	気温・湿数 <sup>9</sup>
	700hPa	気温・湿数
	500hPa	気温・湿数
	850hPa	風・相当温位 <sup>10</sup>
		鉛直安定度指数（SSI） <sup>11</sup>
ポイント予測	日吉，矢上，志木，信濃町，三田，湘南藤沢の慶應義塾各キャンパス	気圧（地上） 風（地上） 湿度（地上） 気温（地上・850hPa） 降水量
エマグラム <sup>12</sup>	日吉，矢上，志木，信濃町，三田，湘南藤沢の慶應義塾各キャンパス	気温・露点温度・風

#### 6.6.4.5 MM5 計算結果表示システム

気象モデル計算サーバにおいてMM5計算及び計算結果の作画を実施する。作成した画像データは、FTPでWebサーバへ転送することにより、Webブラウザを用いた閲覧が可能となる。

表示要素一覧を表 6.14 に、各要素のサンプル画面を図 6.27 に示す。

表 6.14 表示要素一覧

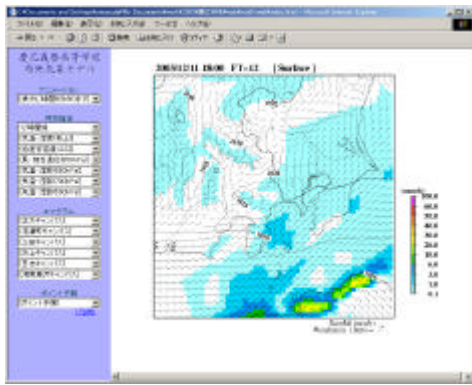
表示タイプ	高度（ポイント）	要素
分布図	地上	海面気圧・風・降水量
	地上	気温・湿度
	850hPa	気温・湿数
	700hPa	気温・湿数
	500hPa	気温・湿数
	850hPa	風・相当温位
		鉛直安定度指数（SSI）
ポイント予測	日吉，矢上，志木，信濃町，三田，湘南藤沢の慶應義塾各キャンパス	気圧（地上），風（地上） 湿度（地上），気温（地上・850hPa），降水量
エマグラム	日吉，矢上，志木，信濃町，三田，湘南藤沢の慶應義塾各キャンパス	気温・露点温度・風

<sup>9</sup> 気温と露点温度との差で、値が 0 に近いほど湿っていることを示す。

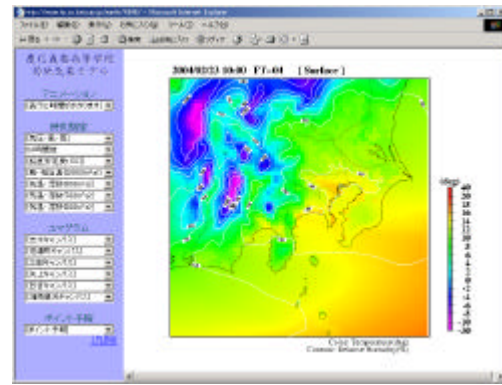
<sup>10</sup> 水蒸気を考慮した温位

<sup>11</sup> 850hPaにある空気塊を断熱的に500hPaまで持ち上げたときの、周囲の温度と持ち上げた空気塊の温度との差。値が小さいほど不安定であることを示す。

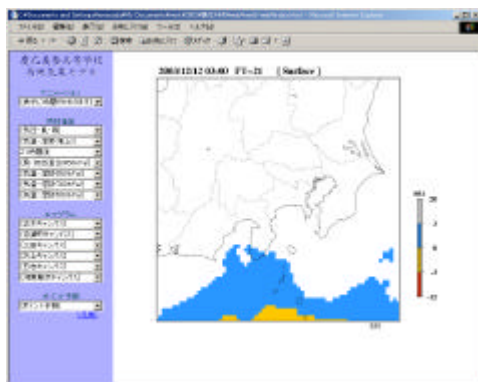
<sup>12</sup> 気温と露点温度の鉛直方向の分布をグラフ表示したもの。



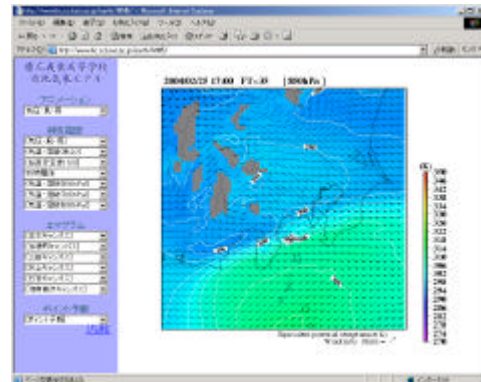
(1) 分布図：気圧・風・降水量



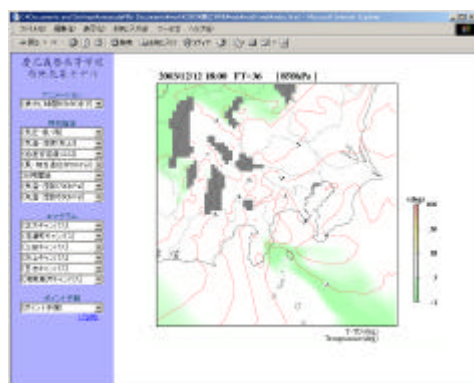
(2) 分布図：気温・湿度（地上）



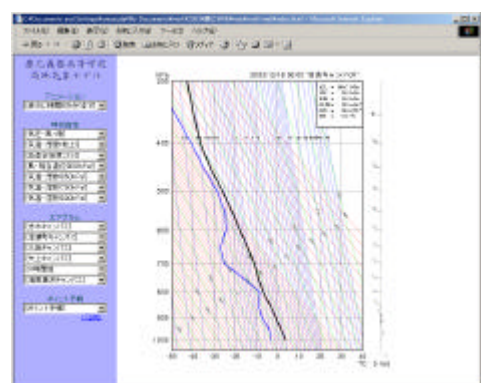
(3) 分布図：SSI（地上）



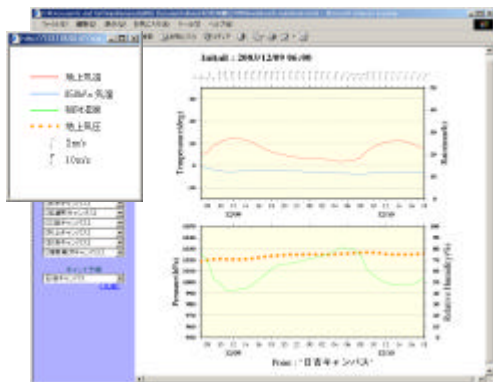
(4) 分布図：風・相当温位（850hPa）



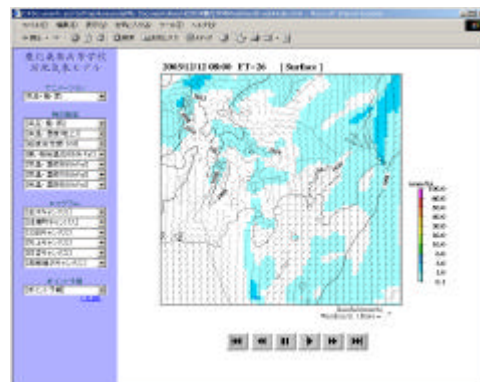
(5) 気温・湿数（850，700，500hPa）



(6) エマグラム



(7) ポイント予報



(8) アニメーション

図 6.27 慶應高校局地予報システム予報結果表示

#### 6.6.5 運用の現状

本システムは、平成 15 年 11 月下旬より運用を開始し、校内ネットワークを通して生徒および教職員に利用されており、日々校内における認知が向上している。運用当初は Domain2(子領域)に対しては積雲対流のパラメタリゼーションは導入していなかったが、弱降水時において降水域の広がりが実況よりも狭かったため、現在では積雲対流のパラメタリゼーションを導入している。このように、実際にシステムが稼動することによって新たな改善点等が発見されており、システムの性能や技術の向上に対して互いに協力を進めていく必要がある。

#### 6.6.6 おわりに

慶應義塾高校では局地予報システムによる予報結果や気象協会が配信する各種気象予測資料を用いた天気予報実習や局地気象予測システムの予測精度向上のために、局地気象予測システムの予測と実際の気象との間で予報誤差の統計解析実習等の教材開発を行い実践することを計画されている。気象協会としても慶應義塾高校の先進的な取り組みに対してシステム運用の支援や予報結果の取り扱い方法および教育への実践について今後も協力していきたいと考えている。