



高等学校における気象モデルを ルーチン運用した気象情報システム

坪田 幸政*・吉田 優**・増田 有俊***

1. はじめに

文部科学省は、平成14年度から科学技術・理科、数学教育を重点的に行う高等学校を「スーパーサイエンスハイスクール (SSH)」として指定し、理数系教育に関する大学や研究機関等との効果的な連携方策をはじめとする教育課程の改善に資する研究開発を行っている。慶應義塾高等学校 (以下、慶應高校) は平成15年度に研究開発校に指定され、研究開発の一環として、生徒にとって身近である天気予報を通して科学技術への興味関心を高める教材の開発を計画した。そこで、財団法人日本気象協会 (以下、気象協会) と協力して、最先端の気象予報を生徒に体験させ、科学技術に対する理解や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、気象庁や気象協会が発表するリアルタイム気象観測・予報データおよびメソスケール気象モデルを用いた独自の局地気象予報を校内で利用可能な慶應高校気象情報システムを構築した。

2. 慶應高校気象情報システム

2.1 気象情報システム

気象情報システムは、3台のコンピュータと気象協会から慶應高校へ各種気象情報を配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。気象データの配信には気象協会が

実施している気象情報サービス MICOS (Meteorological Information Comprehensive Online Service; マイコス) を利用している。各コンピュータのスペックを第1表に、システムの構成を第1図に示す。データの配信には IP-VPN (Internet Protocol-Virtual Private Network) を使用し、気象協会と IP-VPN の間は光回線、IP-VPN と慶應高校との間は ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) で結ばれている。IP-VPN とは、通信プロトコルとして IP を利用し、インターネットやデータ通信網上で実現される、仮想的なユーザ専用のネットワーク (VPN) のことである。本システムでは、通信事業者が独自に構築した閉域 IP 網を使用している。また、ADSL とは近年家庭用のインターネット接続などで急速に普及が進んでいるメタル回線を用いた通信回線のこと、通常専用線として用いられるデジタル回線と比べて信頼性はやや劣るが、通信速度が速く、回線使用料も抑えることができるという利点がある。

各コンピュータの役割は次の通りである。

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、専用閲覧ソフトを用いて詳細な各種気象情報を閲覧することを可能とする。

Web サーバ:

慶應高校独自の気象情報ホームページを作成し、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とする。

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い、慶應高校

* Yukimasa TSUBOTA, 慶應義塾高等学校
(現所属: 桜美林大学).
tsubota@obirin.ac.jp

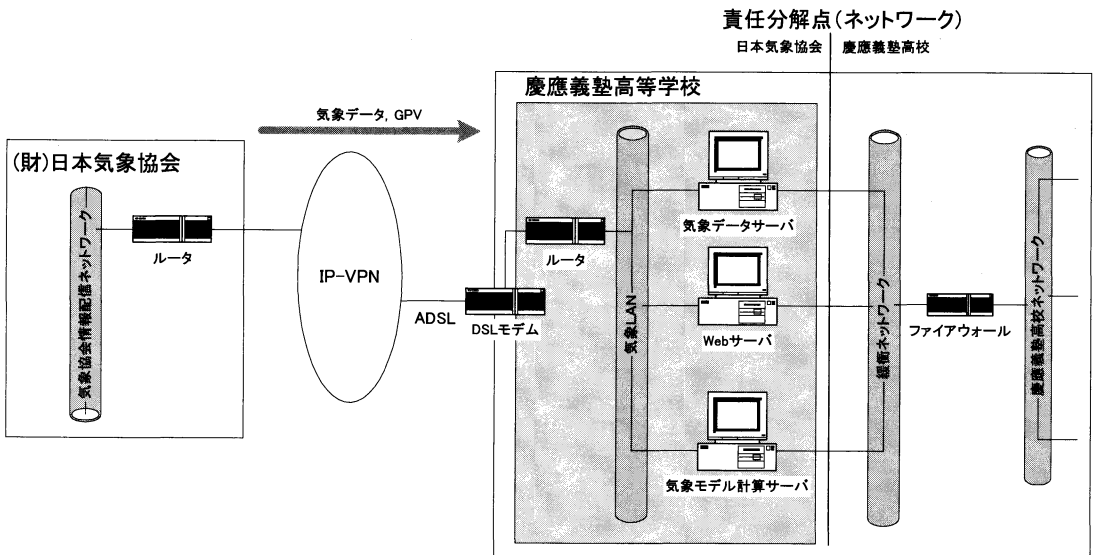
** Masaru YOSHIDA, 財団法人日本気象協会
(現所属: 長崎県立大村高等学校).

*** Aritoshi MASUDA, 財団法人日本気象協会.

© 2005 日本気象学会

第1表 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 2.53 GHz | Pentium4 2.8 GHz | Xeon 3.06 GHz×2 |
| メモリ | 1 GB | 1 GB | 4 GB |
| ハードディスク | 80 GB | 80 GB×2 | 146.8 GB×3 |
| 機能 | MICOS 気象情報受信専用ソフトによる表示 | MICOS 気象情報 Web 作画処理 Webサーバ | GPV 受信 MM5計算&MM5予測結果 作画処理 |



第1図 システム構成.

独自の詳細な気象予測を Web サーバに対して提供する。

2.2 配信気象情報

気象協会から配信を受けている気象情報には、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だけではなく、波浪予測情報、航空気象情報、専門的な天気図、気象協会が独自に作成している1時間毎のポイント予測情報やメッシュ予測情報など一般には公開されていない専門的な気象情報も多く含まれている。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高校とは専用回線で接続されており、配信されたデータは高校内に設置されているデータサーバに蓄積されていくため、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

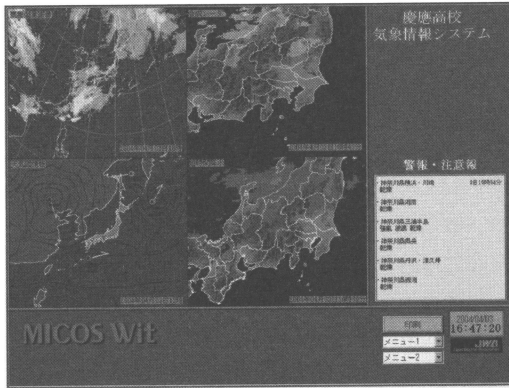
る。学校行事や部活動、屋外での授業実施の可否判断など、学校内における判断資料としても利用可能である。配信されている各種気象データを閲覧するには以下の2通りの方法がある。

① 専用端末から閲覧する (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。この端末は地学教員室の入口に設置されている。MICOS Wit の表示画面の例を第2図に示す。

② 校内 Web から閲覧する (MICOS WitWeb)

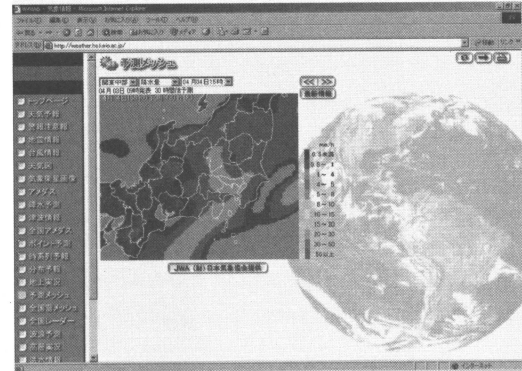
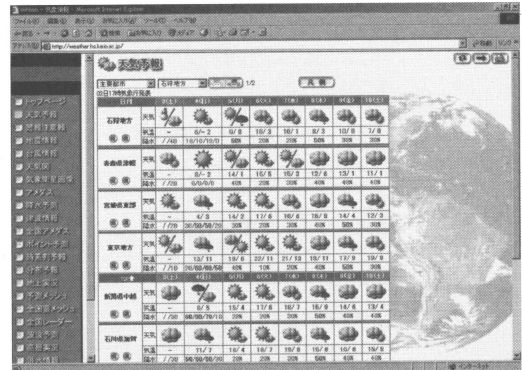
生徒が日常の学校生活の中で気象情報に触れ、活



ポイント予報

| 日時 | 天気 | 気温 [°C] | 湿度 [%] | 風向 | 風速 [m/s] | 日照時間 [h] | 降水 [mm] | 気圧 [hPa] | 視程 [km] | 雲量 [%] |
|-------|----|---------|--------|-----|----------|----------|---------|----------|---------|--------|
| 25 18 | 晴 | 11.1 | 48 | 西南西 | 7 | 0 | 10.4 | 97 | 西南 | 4 |
| 25 19 | 晴 | 11.4 | 48 | 西南西 | 3 | 0 | 10.3 | 97 | 西南 | 5 |
| 25 20 | 晴 | 11.3 | 54 | 西南西 | 5 | 0 | 9.8 | 95 | 西南 | 4 |
| 25 21 | 晴 | 11.3 | 54 | 西南西 | 5 | 0 | 9.3 | 94 | 西南 | 3 |
| 25 22 | 晴 | 10.9 | 54 | 南 | 2 | 0 | 9.1 | 93 | 西南 | 3 |
| 25 23 | 晴 | 9.5 | 65 | 北 | 3 | 0 | 8.9 | 90 | 西南西 | 3 |
| 25 24 | 晴 | 7.3 | 81 | 北 | 3 | 0 | 8.7 | 89 | 西南西 | 3 |
| 25 25 | 晴 | 6.4 | 88 | 北 | 1 | 0 | 8.6 | 89 | 西南西 | 3 |
| 25 26 | 晴 | 10.2 | 45 | 北 | 2 | 0 | 11.3 | 95 | 西南西 | 8 |
| 25 27 | 晴 | 13.5 | 38 | 南南東 | 3 | 0 | 11.7 | 97 | 西南 | 8 |
| 25 28 | 晴 | 16.7 | 33 | 南南東 | 3 | 0 | 12.7 | 93 | 西南西 | 9 |
| 25 29 | 晴 | 14.0 | 33 | 南南東 | 5 | 0 | 12.1 | 94 | 西南西 | 10 |
| 25 30 | 晴 | 15.0 | 33 | 南南東 | 4 | 0 | 12.4 | 94 | 西南西 | 10 |
| 25 31 | 晴 | 15.3 | 33 | 南南東 | 4 | 0 | 12.0 | 94 | 西南西 | 9 |
| 25 32 | 晴 | 18.0 | 31 | 南南東 | 3 | 0 | 12.8 | 94 | 西南西 | 9 |
| 25 33 | 晴 | 18.5 | 34 | 南南東 | 3 | 0 | 13.1 | 94 | 西南 | 8 |
| 25 34 | 晴 | 15.2 | 38 | 南 | 3 | 0 | 12.4 | 93 | 西南 | 7 |
| 25 35 | 晴 | 14.7 | 42 | 南南西 | 3 | 0 | 12.5 | 94 | 西南西 | 6 |
| 25 36 | 晴 | 14.1 | 43 | 南南西 | 3 | 0 | 12.4 | 93 | 西南西 | 6 |
| 25 37 | 晴 | 13.3 | 43 | 南南西 | 3 | 0 | 11.9 | 92 | 西南西 | 5 |
| 25 38 | 晴 | 12.5 | 47 | 南南西 | 3 | 0 | 11.9 | 92 | 西南西 | 5 |
| 25 39 | 晴 | 12.0 | 50 | 南南西 | 4 | 0 | 11.8 | 92 | 西南西 | 5 |
| 25 40 | 晴 | 11.5 | 51 | 南南西 | 4 | 0 | 11.5 | 91 | 西南西 | 4 |
| 25 41 | 晴 | 10.3 | 55 | 南南西 | 4 | 0 | 11.1 | 90 | 西南西 | 3 |

第2図 MICOS Witの画面。



第3図 MICOS WitWebの画面。

用できるようにするために専用 Web ページを作成し、利用頻度が比較的高い気象情報を慶應高校内 LAN に公開している。校内のコンピュータや高校正面玄関ホール・地学教室前に設置してあるタッチパネル式の科学情報端末で閲覧が可能である。MICOS WitWeb の表示画面の例を第3図に示す。

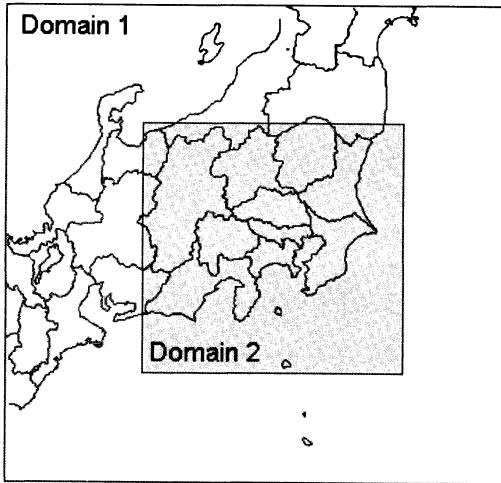
2.3 局地気象予報システム

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することによって将来の気象の変化を予測する数値予報で行われている。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、通常の天気予報用に地球全体を対象とする GSM (Global Spectral Model; 全球モデル) とアジア域を対象とした RSM (Regional Spectral Model; 領域モデル) を1日2回運用しているが、空間解像度がそれぞれ約60 km, 約20 km と粗いため、夏期の雷雨といった局地的な現象を直接予測することは非常に難しい。

局地気象予報システムは、気象協会から気象庁が提供する RSM の GPV の配信を受けて、関東地方を対象とした詳細な局地気象予測計算を慶應高校独自に実施することを目的としている。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。

本システムでは、局地気象予報モデルとして米国の PSU/NCAR (Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research) で開発されている非静力学・完全圧縮系の数値気象モデル MM5 V3.6 (Grell *et al.*, 1995) 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あり、インターネット上でプログラムソースが公開され、様々な場所で研究や現業に用いられている。



第4図 MM5予測計算範囲
(Domain1: 計算格子間隔15 km,
Domain2: 計算格子間隔5 km).

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, コ

ンパイラには Intel Fortran Compiler を使用した。
MM5の予測計算範囲を第4図に示す。本システムでは Domain1 (親領域) の格子間隔を15 km, Domain2 (子領域) の格子間隔を5 km とし, 2way でネスティングしている。第5図に計算スケジュールを、使用したモデルの主な設定を第2表に示す。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。本予報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。

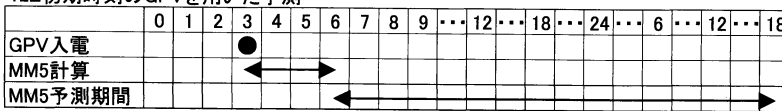
本システムは、15分毎に最新の RSM-GPV データが入電しているかどうかをチェックし、最新 GPV の入電を確認すると、自動的に予測計算を開始する。このため何らかのトラブルで GPV の入電が遅れた場合にも、自動的に対応し、予測計算を実施することができる。

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

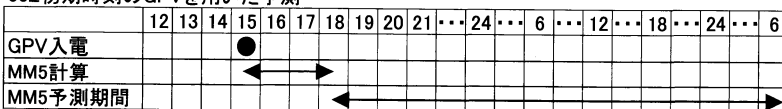
ている。定期的にバックアップしているデータは、入力データである RSM (MM5入力フォーマット) と出力データである編集済予測結果、ポイント予測値、計算結果画像である。

気象モデル計算サーバでは MM5の計算だけではなく、その計算結果を Web で表示するための作画をハワイ大学で開発され公開されている可視化ソフトウェア (GMT, The Gneric Mapping Tools) を用いて実施している。作成した計算結果の画像データは、結果表示用の専用ページを作成してある Web サーバへ転送することにより、Web ブラウザを用いて校内で閲覧が可能となっている。MM5の予測結果の Web 表示要素一覧を第3表に、

12Z初期時刻のGPVを用いた予測



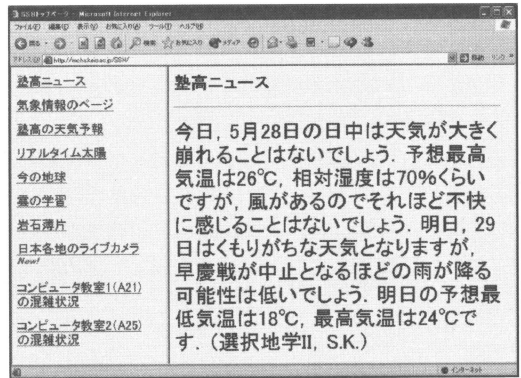
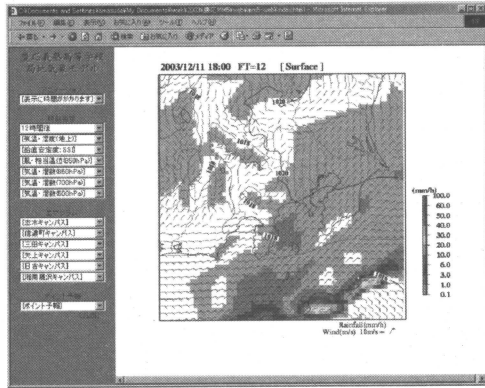
00Z初期時刻のGPVを用いた予測



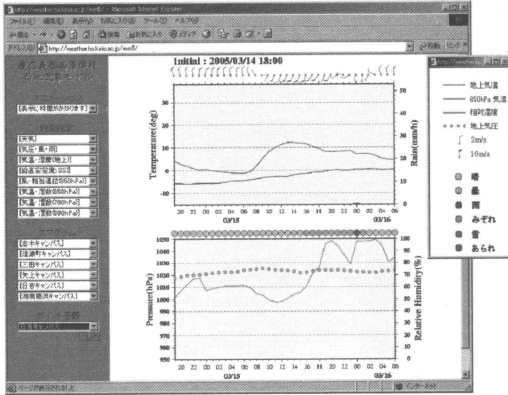
第5図 計算スケジュール
予測期間が36時間の場合で、横軸が時刻 (日本標準時) を示す。

第2表 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 | 15 km | 5 km |
| 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 |



第7図 科学情報端末に表示された生徒の予報文 (2004年5月28日)。



第6図 慶應高校局地予報システム予報結果表示例 (上) 分布図: 海面気圧・風・降水量, (下) ポイント予報。

また、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。平成16年度には、MM5局地気象予報システムの予想結果に「晴・曇・雨・雪・みぞれ・あられ」の天気分布予報とポイント天気時系列予報を組み込み、運用を開始した。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、研究機関とシステムの性能や技術の向上に関して、互いに協力を進めていく必要がある。

3.2 気象システムの教材化

慶應高校局地気象予報システムの予報結果は自動的

Web表示画面例を第6図に示す。

3. 現在の使用状況

3.1 システム運用の現状

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。台風などの際の状況判断や運動会、球技大会、文化祭、入学試験など天気左右される学校行事の開催準備などに気象情報を活用している。

第3表 MM5予報結果校内 Web 表示要素一覧。

| 表示タイプ | 高度 (ポイント) | 要素 |
|--------|--------------------------------------|--|
| 分布図 | — | 天気分布 (晴・雨・曇・雪・あられ・みぞれ) |
| | 地上 | 海面気圧・風・降水量 |
| | 地上 | 気温・湿度 |
| | 850 hPa | 気温・湿数 |
| | 700 hPa | 気温・湿数 |
| | 500 hPa | 気温・湿数 |
| | 850 hPa | 風・相当温位 |
| ポイント予測 | — | 鉛直安定度指数 (SSI) |
| | 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・850 hPa), 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 |

に校内 LAN から Web ページとして閲覧可能となっている。生徒は校内に2箇所設置された科学情報端末やコンピュータ教室、図書室などで閲覧でき、下校時やクラブ活動前に利用している。

3年の選択科目地学II(気象)の履修者は、科学情報端末を利用してMM5の予報結果や気象協会から提供を受けている天気図や衛星画像などのさまざまな気象情報から予報解説文を当番制で作成し、その科学情報端末に公開している(第7図参照)。

4. おわりに

現在、局地気象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報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報精度の検証や精度向上のための統計的関係式の作成等の教材開発や実践を進めている。

参考文献

- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer, 1995: A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), NCAR/TN-398+STR, NCAR TECHNICAL NOTE, 122pp.



科学技術分野の文部科学大臣表彰(科学技術賞および若手科学者賞) 受賞候補者の推薦募集

1. 目的

この表彰は、科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を取めた者について、その功績を讃えることにより、科学技術に携わる者の意欲の向上を図り、もって我が国の科学技術水準の向上に寄与することを目的とする。

2. 表彰対象

(1) 科学技術賞(年140件/年)

1) 開発部門(年30件/年)

我が国の社会経済、国民生活の発展向上等に寄与する画期的な研究開発若しくは発明であって、現に利活用されているものを行った個人若しくはグループ又はこれらの者を育成した個人

2) 研究部門(年40件/年)

我が国の科学技術の発展等に寄与する可能性の高い独創的な研究又は発明を行った個人又はグループ

3) 科学技術振興部門(年10件/年)

大学等の研究開発成果を活用したベンチャー創出、地域における産学官連携、研究開発の社会的必要性に関する研究等の分野において、科学技術の振興に寄与する活動を行い、顕著な功

績があったと認められる個人又はグループ

4) 技術部門(年40件/年)

中小企業、地場産業等において、地域経済の発展に寄与する優れた技術を開発した個人若しくはグループ又はこれらの者を育成した個人

5) 理解増進部門(年20件/年)

青少年をはじめ広く国民の科学技術に関する関心及び理解の増進等に寄与し、又は地域において科学技術に関する知識の普及啓蒙等に寄与する活動を行った個人又はグループ

(2) 若手科学者賞(年100件/年)

萌芽的な研究、独創的視点に立った研究等、高度な研究開発能力を示す顕著な研究業績を挙げた若手研究者個人

3. 推薦に必要な書類

候補調査書、付属資料各種(論文一覧等)、履歴書、戸籍抄本

4. 提出期限: 2005年7月22日(金)

担当: 文部科学省研究振興局

〒100-8959 東京都千代田区丸の内2-5-1

Tel: 03-5253-4111 内線4071, 4233

詳細は気象学会事務局にお問い合わせ下さい。