

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500757
 研究課題名（和文） 大気環境情報システムと科学リテラシーを育成するための学習モジュールの開発
 研究課題名（英文） Developments of an Atmospheric Information System and Learning Modules in order to Promote Science Literacy
 研究代表者
 坪田 幸政（TSUBOTA YUKIMASA）
 桜美林大学・自然科学系・教授
 研究者番号：70406859

研究成果の概要（和文）：

気象と大気環境の観測結果と天気予報を提供する大気環境情報システムを構築した。そして、科学リテラシーを育成するための学習モジュールを天気と大気環境をテーマとして開発した。学習モジュールは教員研修会参加者の意見なども考慮して改良された。最終年度には高校生向け講座を開いて、学習モジュールの最終評価を実施した。天気予報と風力発電、紫外線とオゾン層、地球温暖化に関する学習モジュールの評価が高かった。

研究成果の概要（英文）：

An atmospheric information-system which provides real-time weather and air-quality data in addition to local weather-forecasting was developed and continuously used for three years. The learning-modules for weather and air-quality have been developed to promote science literacy. The learning modules were revised from science-teachers' feedbacks. The learning modules were applied to our high-school outreach programs and their final evaluation were executed in the final year. The learning modules especially for in weather forecasting, wind-power generation, ozone depletion and global warming, were proven useful to promote science literacy.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2007 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総 計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：大気環境，天気予報，科学リテラシー，気象観測，学習モジュール，教材開発，STS，科学教育

1. 研究開始当初の背景

(1) 理科教育の現状と動向

児童・生徒の「理科嫌い」・「理科離れ」の問題は日本だけに限らず、世界的な問題であり、各国が科学教育カリキュラムの改革などに努力していた。例えば、アメリカ気象学会はNSFの支援を受け、Project Atmosphereを立ち上げ、教材開発や教員研修を行っていた。

(2) これまでの活動

本研究グループは2000年より「リテラシーとしての気象教育プロジェクト」を立ち上げ、現代人のリテラシーとしての気象学の普及・啓蒙を図るべく、教員向けワークショップや中学生向けサイエンス・キャンプの実施及び関連図書の出版などを行ってきた。そして、国内の日本理科教育学会や日本科学教育学会、海洋と気象の教育と普及に関する国際会議(EWOC)などにおいて研究活動の成果を発表してきた。

(3) 本研究の動機

これまでの研究結果から、教育課程の中で利用できる大気環境情報の充実と情報利用上のノウハウの蓄積および共有が課題であると実感した。そこで、独自の大気環境情報システムの構築に思い至った。そして、大気環境情報システムから提供される天気と大気環境に関する情報を利用して、科学リテラシーを培うための学習モジュールを開発し、学校現場への普及を図ることを計画した。

(4) 研究活動に対する問題意識

学校で実際に利用される教材の開発には、現場のニーズを把握すると共に教員と生徒からのフィードバックが不可欠であると考えた。そこで、教育委員会と連携した教員研修会と生徒向け体験講座を組み込んだ教材開発過程を確立することが必要と考えた。

2. 研究の目的

(1) 大気環境情報システムの構築

本研究で開発する学習モジュールに対して、天気と大気環境に関する情報を提供することを目的として、大気環境情報システムを構築し、運用する。

(2) 学習モジュールの開発

生徒や学生にとって関心の高い天気と大気環境をテーマとして、科学リテラシーを培うための学習モジュールを開発する。学校教育への普及を目指すために、学習指導要領の枠組みを考慮した教材を開発する。そして、学習モジュールの対象は中学生から文系大学生とする。これは高等学校における地学の履修状況などを考慮すると、高校生と文系大学生の天気や大気環境に関する知識レベル

に大きな差はなく、中学生に対する発展的内容は、高校生から文系大学生までを対象にできると考えたからである。

(3) 教材開発過程の確立

開発教材の利用可能性を高めるために、教育委員会と連携した教員研修会を開催し、現場教員からのフィードバックを教材開発に反映させる。また、高校生向け体験講座で実際に使用することで、開発教材の有効性を確認する。このような教材開発過程を確立し、例示する。

3. 研究の方法

(1) 研究の体制

初年度、研究代表者が大気環境情報システムの開発と運用を担当した。また、学習モジュールの開発は研究分担者と共に行った。二年時以降、研究分担者は連携研究者として本研究に関わった。

開発した教材の評価と普及のため、(独)科学技術振興機構「理数系教員指導力向上研修(希望型)」事業の支援を受け、横浜市教育委員会と神奈川県教育委員会と連携して中学校理科教員研修会を各年度1回実施し、学校現場からのフィードバックを受けた。

最終年度には、(独)日本学術振興会の研究成果の社会還元・普及事業「ひらめき☆ときめきサイエンス〜ようこそ大学の研究室へ〜KAKENHI」の支援による高校生向け講座「オゾン層と紫外線の科学〜地球環境問題の考え方〜」を開催した。また、(独)科学技術振興機構の「サイエンスキャンプ」事業において、「地球温暖化シミュレーション〜NASAの気候モデルにチャレンジ〜」を共催した。これらの高校生向け講座を通して、開発教材の最終評価を実施した。

(2) 大気環境情報システムの構築

① 気象観測

気象要素としては、気温、相対湿度、気圧、風向・風速、降水量、全天日射量、直達日射量、紫外線A領域、紫外線B領域とする。準リアルタイムの観測値と過去24時間と過去一週間の変化をグラフ表示して、利用者に提供する。また、大気状態を確認するための天気カメラを設置する。

② 大気環境観測

観測要素としては、二酸化炭素、オキシダント、一酸化窒素、二酸化窒素、浮遊粒子状物質、メタン、非メタン炭化水素の各濃度とする。これらのデータも気象観測同様、準リアルタイムの観測値と過去24時間と過去一週間の変化をグラフ表示して、利用者に提供する。また、大気電場および雷探知機を試験的に運用する。

③ 局地天気予報

天気予報の比較対象として、複数の局地天気予報の提供を試みる。複数の天気予報が提供された場合、利用者側には予報を意識的に選択する（能動的に利用する）必要性が生じ、毎日の生活の中に科学的思考の機会を提供することができる考える。

そこで、気象庁の天気予報を予報業務支援センターよりデータとして入手し、これを元に天気予報モデル（WRF）を運用して、局地天気予報を提供する。また、米国国立環境予報センター（NCEP）の天気予報をインターネット経由で入手し、同様にWRFを運用して、局地天気予報を提供する。つまり、2種類の局地天気予報を提供することを試みる。

(3) 学習モジュールの開発

科学リテラシー育成のための開発教材は、学習モジュール化し、それぞれ独立した学習内容とする。これは利用者がその目的に合わせて、既存の科目やコースに組み込めることを考えたためである。そして、開発教材は基本モジュールと応用モジュール、発展モジュールの3レベルを用意する。

また、各モジュールにはオプションを用意し、利用者が対象に応じて学習内容の選択し、調整できるように工夫する。こうすることで、開発する学習モジュールが中学生から文系大学生までを対象とできるようにする。

① 基本モジュール

基本モジュールは、自然の観察方法と天気予報の原理の理解、科学的な文章表現力と口語表現力の育成に焦点を合わせる。つまり、天気を観て、天気予報を入手し、自ら判断し、行動でき、文章および口語で表現できるようになることを目標とする。

② 応用モジュール

応用モジュールでは気象が社会でどのように利用されているかを理解し、社会における科学技術の役割を理解することに焦点を合わせる。つまり、気象の研究や運用（科学と科学技術）が私たちの快適な生活を守り、産業に貢献し、社会に役立つことを理解することが目標となる。

③ 発展モジュール

発展モジュールでは科学の研究手法と地球環境問題に焦点を合わせる。例えば、天気予報の精度を検証することで、統計処理の基礎を学習し、科学的な見方を培うことが目的となる。また、天気の数値予報では、気象の変化率（微分）と時間変化（積分）が基礎となり、微積分の基礎を学習し、現代科学を実感することが目的となる。

また、海外の予報機関が発表する天気予報

を利用することで、英語などの外国語の学習意欲を高めることが予想される。例えば、英語を学習しても、ニュースを英語で読むことも、聴くことも容易ではない。しかし、英語の天気予報を読み、聴くことは、比較的短期間に可能となる。つまり、使えるから、楽しく、もっと学習しようという動機付けが期待できる。そこで、発展モジュールでは国際理解も目的のひとつに考える。

(4) 教材開発過程の確立

学習モジュールの実践による評価は桜美林大学の「自然科学基礎（気象学）」や「地球規模環境論」などの講義を通して行い、その結果を踏まえて改良する。また、2005年度から取り組んでいる中学校教員対象のワークショップを通して学習モジュールの普及を図る。そして、ワークショップでは教育現場のニーズなどを調査し、学習モジュールの開発に役立てる。最終段階では、高校生を対象とした講座を企画して、開発教材の有効性を直接的に調査する。

4. 研究成果

(1) 大気環境情報システムの構築

① 気象・大気環境情報

大気環境情報システムのWEBを図1に示した。このWEBは5分間隔で更新される。ここで提供する情報は、様々な利用法が考えられる。例えば、直達日射量の値は、高等学校「理科総合B」の探究活動として定番である「直達日射量の測定」の実験結果の検証や発展学習に用いることができる。

理化学館大気環境ステーション																																	
気象観測		天気カメラ (拡大表示)																															
観測日時	2010/05/31 16:13																																
気温	18.9	°C																															
最高気温	20.9	°C																															
最低気温	12.1	°C																															
相対湿度	40.3	%																															
露点	5.1	°C																															
全天日射量	379.5	W/m ²																															
直達日射量	447.0	W/m ²																															
日照時間	5.4	hour																															
現地気圧	996.9	hPa																															
風速	4.1	m/s																															
風向	172.4	DEG																															
鉛直風速	0.0	m/s																															
最大風速	6.6	m/s																															
UV-A	15.150	W/m ²	<table><tr><th colspan="3">大気環境</th></tr><tr><td>SPM</td><td>18.9</td><td>μg/m³ 02:57</td></tr><tr><td>PM10</td><td>0.006</td><td>mg/m³</td></tr><tr><td>NO</td><td>1.1</td><td>ppb</td></tr><tr><td>NO2</td><td>10.6</td><td>ppb</td></tr><tr><td>O3</td><td>27.4</td><td>ppb</td></tr><tr><td>NMHC</td><td>67.40</td><td>ppbC</td></tr><tr><td>CH4</td><td>1.850</td><td>ppm</td></tr><tr><td>CO2</td><td>388.7</td><td>ppm</td></tr><tr><td>SPM(ノイズ)</td><td>0</td><td>mg/m³</td></tr></table>	大気環境			SPM	18.9	μg/m ³ 02:57	PM10	0.006	mg/m ³	NO	1.1	ppb	NO2	10.6	ppb	O3	27.4	ppb	NMHC	67.40	ppbC	CH4	1.850	ppm	CO2	388.7	ppm	SPM(ノイズ)	0	mg/m ³
大気環境																																	
SPM	18.9	μg/m ³ 02:57																															
PM10	0.006	mg/m ³																															
NO	1.1	ppb																															
NO2	10.6	ppb																															
O3	27.4	ppb																															
NMHC	67.40	ppbC																															
CH4	1.850	ppm																															
CO2	388.7	ppm																															
SPM(ノイズ)	0	mg/m ³																															
UV-B	0.137	W/m ²																															
降雨強度	0.0	mm/h																															
日降水量	0.0	mm/d																															
大気電場	0.8	kV/m ²																															

図1. 大気環境情報のWEB

過去7日間の変化を示したグラフ表示画面を図2に示した。これらのグラフは中学校の学習内容である「前線の通過に伴う天気変化」の観測結果として利用できる。

また、晴れた日の二酸化炭素濃度の変化、昼間低く、夜間高くなることは、植物の光合成と呼吸に関連付けることで、生物分野の学習や環境教育に利用できる。

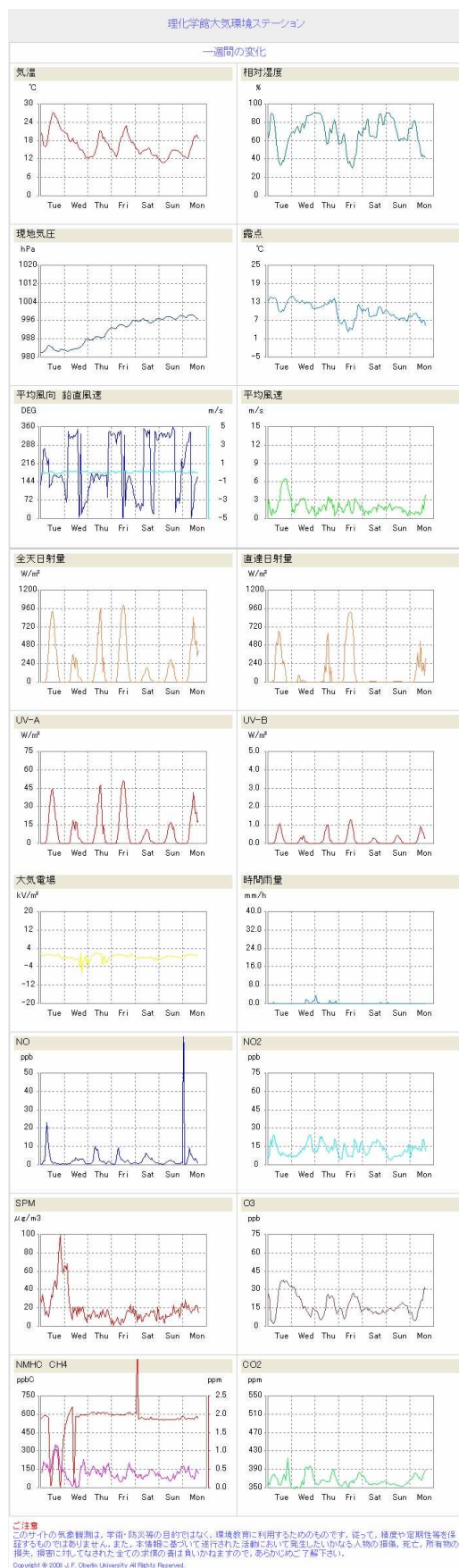


図 2. 過去 7 日間の変化

② 局地天気予報

気象庁の天気予報に基づいた町田キャンパスの局地天気予報を図 3 に示した。これと同じ形式で NECP の天気予報に基づく局地天気予報も提供している。これらの天気予報は、例えば天気予報コンテストの判断材料に利用され、学習者は気象庁や国内外の天気予報を比較検討して、各自の天気予報を決定する。このような作業を通して、批判的（科学的）な情報の見方を培うことができると考える。

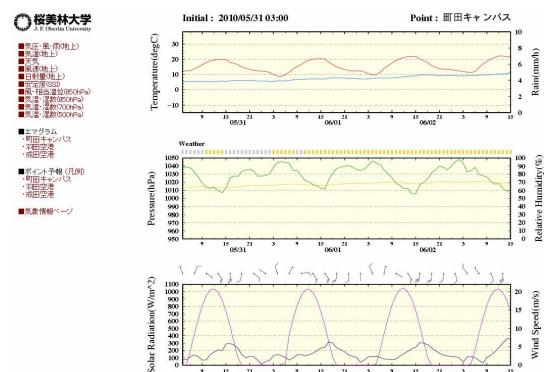


図 3. 桜美林大学の局地天気予報

(2) 学習モジュールの開発

開発した学習モジュールの主なものとその目的と結果について、基本モジュールと応用モジュールと発展モジュールに分類して次に示した。

① 基本モジュール

・雲の写真コンテスト

目的は自然現象への興味・関心を高めることにある。雲を観察することで、観天望気の習慣を定着させることを意図した。大学生を対象として実施し、参加者が複数枚提出ことも多くあった。また、コンテスト後も、珍しい雲や大気光学現象の報告を受け、ある程度の効果が認められた。

・天気予報コンテスト

目的は科学的（批判的）な見方と考え方を鍛えることにある。複数の天気予報を比較し、それぞれ予報結果を実況により検証することを繰り返すことで、科学的な見方が培えると考えた。予報の見方や外れた理由などに対する質問があり、学習者が科学的に天気予報を利用していることが確認できた。

・天気予報文の作成

目的は科学コミュニケーション・スキルを向上することにある。天気予報では、これまでの天気、現在の天気、これからの天気を表現するために、過去形・現在形・未来形という時制を適切に使用する必要がある。また、予報には論理的な根拠を示す必要もある。短い天気予報文にも関わらず、文章表現と口語表現を鍛えることができることは、教員研修会でも支持された。

② 応用モジュール

・ペーパークラフト風車の作成

目的は風車の回る原理と風車に種類がある理由を理解することにある。作成する風車の選択に際して、学習者からその特徴や利用例などを質問された。また、風車を扇風機で回転させることにより、回り易さの違いを体験的に学習していることが確認できた。

・風速と発電量の実験

目的は風のエネルギーと風力発電の効率に対する理解を深めることにある。風車の羽根の枚数を変化させる実験では、発電量を予測し、実験で確認するという「科学の方法」を体験することも目的といえる。羽根の枚数を変化させた場合の発電量の予測では、学習者の間で予想が分かれることが多く、科学的な意見を出し合う場面が見られた。

・風力発電の経済性

目的は風力発電の経済性に対する理解を深めることにある。本研究で構築した大気環境情報システムは、風向・風速と風力発電量、日射量と太陽光発電量を提供しているので、太陽光発電についても理解を深めることができる。太陽光発電と風力発電を比較した結果に多くの大学生が驚いていた。

③ 発展モジュール

・紫外線の観測

目的はオゾン層の役割を体感することである。紫外線センサーAとBを用いた野外観測から、A領域に対してオゾン層の吸収を受けるB領域の値が極端に小さいことが確認できる。日焼け止めクリームやサングラスの効果を調べる実験では、学習者が積極的に学習に参加する様子が確認できた。

また、大気環境情報システムで行っている紫外線A領域とB領域の継続観測は、オゾン量の推定が目的となる。紫外線A領域とB領域の比と太陽高度に依存する大気量を知ることで、オゾン量を推定する計算図表の試作版を作成した(図4)。オゾン全量は季節変化するので、月毎のオゾン全量を知ることで、UVB/UVAと大気量からオゾン全量の推定が可能となると考えた。

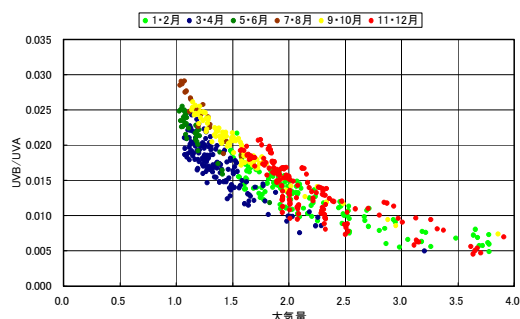


図4. UVB/UVAと大気量の関係

・二酸化炭素の性質に関する実験

目的は地球温暖化の主因である二酸化炭

素の水に対する溶解度の大きさと、溶解することで水が酸性化することを理解することにある。学生実験や演示実験では、学生から感嘆の声が必ず上がったことから、効果的な実験であると判断した。

・気象データの統計処理

目的はデータ処理の方法、特に統計処理に対する理解を深めることにある。具体的な統計処理としては、平均、最大・最小、日積算値、日較差、年較差、標準偏差、最多風向などである。また、冬日、夏日、真夏日、猛暑日の日数や熱帯夜の回数などの経年変化も興味深いテーマである。この学習モジュールは学校気象観測データの利用法の提案と考えることもできる。大学3年生対象の環境科学I・IIの中で、演習として利用し、結果は大学の紀要に掲載された。

・天気予報の精度検証

目的は統計処理の習得である。このモジュールは、気象データの統計処理の上位モジュールという位置付けとなる。桜美林大学の局地天気予報の精度検証を、大学3年生対象の環境科学I・IIの演習教材として利用した。最低気温と最高気温の月別予報精度や閾値を考慮した降水の有無に関する適中率や見逃し率、空振り率の分析は、学習者のデータ処理能力の向上に貢献した。図5に学生が行った結果の例を示した。

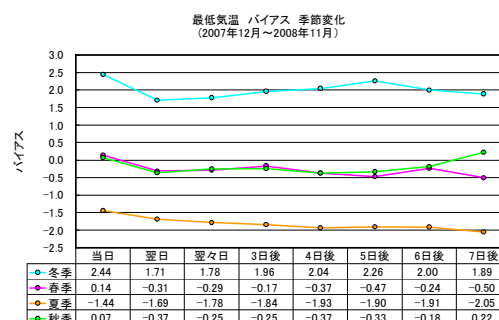


図5. 予報精度の解析例(最低気温)

(4) 学習モジュールの実践と評価

① 教員研修

各年度の開催日と参加人数と研修名を表1に示した。研修内容は現場のニーズと新学習指導要領を考慮して、毎年少しずつ変更した。

ほぼ毎年、定員数の希望者がいたことから判断して、研修の意図は現場のニーズに合っていたと判断した。事後アンケートの結果の一部を表2に示した。

事後アンケートの結果から、研修の内容が妥当であったと判断した。また、事後アンケートの自由記述の回答「楽しかったです。実践ですぐ使えるのがあるがたい」や「ワクワク実験は、すぐに使えるものが多く、参考になりました。」などからも、本研究で開発した教材は実践可能なものと判断した。

表 1. 教員研修会の研修名と参加者数

平成 19 年度
開催日：2007/8/9-10 参加者数：23 名
研修名：簡単な実験と気象情報を活用した 楽しい理科の授業
平成 20 年度
開催日：2008/8/7-8 参加者数：24 名
研修名：天気と環境に関する体験活動を中心とした楽しい理科の授業
平成 21 年度 参加者数：23 名
開催日：2009/8/6-7 参加者数：15 名
研修名：天気と環境・エネルギーをテーマとした理科の体験活動

表 2. 事後アンケートの結果の例

1. 今回の教材を授業で使ってみたいですか？ (1 使わない⇔使う 5) 平均 3.8
2. ワークショップの内容は難しかったですか？ (1 やさしい⇔難しい 5) 平均 2.7
3. 私たちの講義方法はいかがでしたか？ (1 悪い⇔良い 5) 平均 4.5
4. 来年も同様なワークショップがありましたら、同僚の先生にすすめますか？ (1 勧めない⇔勧める 5) 平均 4.64

② 高校生向け講座

高校生向け講座「オゾン層と紫外線の科学～地球環境問題の考え方～」は、2009/7/17-18 の日程で実施した。二日間の参加者数は 23 名であった。

受講者のアンケートの結果や受講者の感想「環境問題について、自分が知らなかったことをたくさん知ることができ、考え方も少し変わりました。また、実際に紫外線を測定したので、分かりやすかったです。」から、目的は達成できたと判断した。

サイエンスキャンプ「地球温暖化シミュレーション～NASA の気候モデルにチャレンジ～」は、2009/8/17-19 に日程で実施した。全国から 37 名の応募があり、募集定員の 10 名を受け入れた。本研究の成果を取り入れた「実験と観測」については、参加者の 70% がとても興味深かった、30% が興味深かったと答えていた。そして、このキャンプで一番良かった活動として、参加者の 30% が「温暖化シミュレーション」ではなく「観測と実験」と回答しており、開発教材が指導者だけでなく、生徒からも受け入れられたと判断した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- ① 坪田幸政, 2010, 町田キャンパスの気象 2009. 桜美林論考『自然科学・総合科学研究』, 桜美林大学紀要, 査読有, 創刊号, 7-30.
- ② 坪田幸政・高崎梓, 2009, 町田キャンパ

スの気象と天気予報 2008. Obirin Today, 桜美林大学紀要, 査読無, 第 9 号, 5-35.

- ③ 坪田幸政, 2009, 気象とその変化の指導 - 理解を深める素材 -, 理科教室, 科学教育研究協議会誌, 査読無, 第 52 巻, 28-33.
- ④ 坪田幸政, 2008, 大気環境ステーションと局地天気予報. Obirin Today, 桜美林大学紀要, 査読無, 第 8 号, 17-41.

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① 坪田幸政, 2010, 体験的なオゾン層と紫外線の科学の指導, 日本科学教育学会平成 21 年度第 3 回研究会南関東支部会, 2010 年 2 月 20 日, 於: 麻布大学.
- ② Tsubota, Y. and T. Takahashi, 2009: Using Forecasting to Teach Weather Science, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 6, EMS2009-88, 2009, 9th EMS / 9th ECAM, <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2009/EMS2009-88.pdf>.
- ③ Tsubota, Y. and A. Takasaki, 2009: Wind-Energy Education: Making Paper Windmills, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 6, EMS2009-87-1, 2009, 9th EMS / 9th ECAM, <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2009/EMS2009-87-1.pdf>
- ④ 坪田幸政, 2008, 風力発電をテーマとした教材開発—小学生から文系大学生を対象として—, 日本エネルギー環境教育学会第 3 回全国大会論文集, 81-82.
- ⑤ 坪田幸政, 2008, 大気環境情報システムの開発とその教育利用, 日本科学教育学会年会論文集 32, 93-94.

〔図書〕(計 1 件)

- ① 坪田幸政 (訳編), 2008, 「地球システムの基礎～地球環境変動と人間活動～」, 成山堂書店, 116 p.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.obirin.ac.jp/la/sci/weather/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坪田 幸政 (TSUBOTA YUKIMASA)
桜美林大学・自然科学系・教授
研究者番号：70406859

(2) 研究分担者 (平成 19 年度)

高橋 庸哉 (TAKAHASHI TSUNEYA)
北海道教育大学・教育実践総合センター・教授
研究者番号：60236297

(平成 20 年度より連携研究者に変更)

森 厚 (MORI ATSUSHI)
桜美林大学・リベラルアーツ学群・准教授
研究者番号：20272627

(平成 20 年度より連携研究者に変更)