

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：32605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350263

研究課題名(和文) 気候リテラシー育成のためのカリキュラム開発とその国際比較

研究課題名(英文) Curriculum development for climate literacy and international comparison of public perception on climate change

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：気候リテラシーは、「気候とその変化及び気候と人間活動の相互作用について理解し、気候の変化に関わる意思決定をするために科学的・工学的知識を利用し、課題を明確にし、根拠を明示して結論を導き、実行する能力」とした。また、気候リテラシーを構成する気候と天気、天気予報と気候予測、気候システムとフィードバックなど20の重要概念を示した。その上で、特定概念別学習モジュールから構成される気候リテラシーを育成するためのカリキュラムを開発した。そして、学習モジュールや情報を提供する気象・気候WEBサイトを開設した。

研究成果の概要(英文)：'Climate Literacy' is defined as an understanding of our influence upon climate and of climate's influence upon us. A climate-literate person understands the essential elements of a climate system from which an informed decision via scientific methods and engineering processes yield responsible actions that affect climate and society. Climate literacy includes more than twenty key words such as weather, climate, weather forecasting, climate prediction, climate system, feedback, etc. The developed climate-literacy curriculum is a collection of learning modules that deal with key concepts from which teachers may use in their classes. A weather & climate web site is set up and is available to promote climate literacy via the dissemination of our results.

研究分野：科学教育，気象学，気候学

キーワード：気候 気候リテラシー 気候変動 カリキュラム 再生可能エネルギー 国際比較 STEM

1. 研究開始当初の背景

(1) 学校教育における問題点

天気と気候は、それぞれ理科と社会科で別々に指導されている。これは学校教育が学習指導要領に基づいて実施されているからであり、天気と気候に関わる気候変動を総合的に扱うことが困難な状況にある。

また、理科で学ぶ科学の方法は、仮説・検証型であり、観測事実や実験データ(証拠)に基づいて結論付けることが求められるが、気候の科学では、証拠を示すことも証明することも困難なことが多く、理科の枠組みでの指導が難しい状況にある。

そして、気候変動の指導では、不確実性に対する理解が重要となるが、その理解が必ずしも指導者の意図する意思決定や行動に結び付くとは限らないことがわかっている。つまり、自然現象の理解に留まり、期待される学習者の行動パターン(意思決定)の変化に至らない状況がある。

(2) 教材開発上の問題点

気候変動はグローバルな視点が必要であり、開発されるカリキュラムもグローバルであると考えられる。しかし、先進国と発展途上国における気候変動教育には、緩和と適応、市民教育と義務教育、脆弱な場所として沿岸都市を考えるか、発展途上国とするかなど、異なる焦点や認識がある。

そして、気候変動教育に関する教材開発は、例えば、野外学習や気候モデルの利用など、多くのカリキュラム開発が実施されているが、それらの間の研究交流も教材の統合化もなされていない状況がある。気候リテラシー育成のためのカリキュラム開発では、教材開発におけるオリジナリティも重要であるが、国内外の研究成果を取り込み、トータルなカリキュラムとしてのオリジナリティの可能性に思い至った。

2. 研究の目的

本研究では、(1)気候リテラシーを確立し、(2)気候リテラシー育成のためのカリキュラムを作成する。また、(3)気象・気候 WEB サイトを開設し、最新のデータを用いた学習モジュールも含め、動的なカリキュラムに対応できるようにする。そして、本研究の成果がポスト 2015 年開発目標策定に貢献することを目標とする。

3. 研究の方法

(1) 研究体制

研究はメンターとして参加して頂いていた米国コロムビア大学のハンセン博士(元 NASA/GISS 所長)のグループと連携して行った。また、高校生向け環境科学講座の開催では、桜美林大学の片谷教孝教授と有賀清一講師に協力を得た。また、バングラデシュにおける調査研究では、(株)パデコ社の相馬敬氏に協力を得た。

(2) 研究の計画

海外の先行事例の調査研究

気候リテラシーを確立し、気候リテラシー育成のためのカリキュラムを開発するために、海外における気候リテラシー教育に関する文献調査と共にインターネットに公開されている講座などを履修する。

また、Yale Program on Climate Change Communication と The Climate Literacy Energy Awareness (CLEAN) Network と Columbia University/Earth Institute の Climate Science, Awareness and Solutions (CSAS Blog.) のメーリングリストに参加することで最新情報を入手する。

気候リテラシーとカリキュラム開発

日本における先行研究や現状を調査分析し、海外の調査結果と合わせて地球市民に求められる気候リテラシーを確立し、定義する。そして、気候リテラシーを育成するためのカリキュラムを開発する。

地球市民という視点では、気候リテラシーに対する国際的な共通認識の確立あるいは理解が必要となる。そこで、観測された気候変動に関する調査を実施する。

気象・気候 WEB サイトの開設と運用

開発するカリキュラムとその実践に必要な情報とデータを提供する WEB サイトを開設し、運用する。

4. 研究成果

(1) 気候リテラシー

海外の先行事例の調査研究は、文献調査だけでなく、表 1 に示したコースに参加して行った。

表 1. カリキュラムの調査対象

"Climate Change In The Classroom Summer 2013 Teachers Workshop", NASA/GISS
"Climate Literacy: Navigating Climate Change Conversation", The University of British Columbia, The University of Chicago
"Climate Change", The University of Melbourne
"Turn Down the Heat", World Bank
"Global Warming: The science of climate change", The University of Chicago
"The Age of Sustainable Development", Columbia University
(<https://www.coursera.org/>)

また、米国の学校教育については、次世代のための科学教育スタンダード(NGSS)とニューヨーク州のシラバスなど、バングラデシュについては 2016 年から実施される新カリキュラム、日本については学習指導要領と検定教科書(算数・数学、社会、理科)などを中心に調査した。

最終的に、気候リテラシーの定義は、PISA の学力調査における科学リテラシーの定義

を参考にして、「気候とその変化及び気候と人間活動の相互作用について理解し、気候の変化に関わる意思決定をするために科学的・工学的知識と手法を利用し、課題を明確にし、根拠を明示して結論を導き、実行する能力」とした。

また、気候リテラシーは、天気(Weather)と気候(Climate)、天気予報(Weather forecasting)と気候予測(Climate prediction)、気候システム(Climate system)とフィードバック(Feedback)、気候の変動性(Climate variability)と気候変化(Climate change)、緩和(Mitigation)と適応(Adaptation)、脆弱性(Vulnerability)と強靭性(Resilience)、世代間の衡平性(Equity)、科学の可能性と限界、科学の方法(Scientific method)と工学的手法(Engineering design process)、政策オプション(Policy option)と意思決定(Decision making)、国際社会の対応と国際環境法(International environmental law)などの重要概念から構成されると結論付けた。

(2) 気候リテラシー育成のカリキュラム

気候リテラシー育成のカリキュラムは、対象が児童・生徒から大学生や成人と幅広く、また天気と気候などの基礎・基本から、統計的に有意な変化や国際環境法の考え方など高度な事項が含まれる。また、状況により育成のために使える時間も異なることが予想される。そこで、気候リテラシーを育成するためのカリキュラムは、特定概念別の学習モジュールから構成され、利用者が対象や目的によって個別に利用できようとした。

気候リテラシーと統計的な見方

気候リテラシーにおける統計学的見方の重要性に着目し、新学習指導要領で拡充された数学教育における統計の扱いに関して、中学校と高等学校における検定教科書を調査した(表2)。

表2. 本研究で使用した教科書一覧

教育出版:「中学数学 ~」
大日本:「数学の世界1~3」
東京書籍:「新しい数学1~3」
数研出版:「数学」,「高等学校 数学」,
「新編 数学」,「新 高校の数学」
実教出版:「高校数学」
東京書籍:「数学」,「新編数学」,「新 数学」

中学校では、三社共各学年に気象・気候に関するデータが用いられていた。気候の変化も題材として取り扱われており、一社は月平均気温による比較、二社は過去と現在における日最高気温あるいは日最低気温の度数分布による比較が示されていた。また、本文ではないが、地球温暖化の原因である二酸化炭素濃度の変化も三社で扱われていた。

世界あるいは日本の年平均気温の長期変

動が理科の教科書で扱われることはあるが、気候変動の理解で重要な日々の気温の変動性が理科で扱われていないことを考えると、数学と理科の連携の必要性が確認できた。

高等学校では、三社八種類の教科書のうち、三社六種類で気象データが扱われていた。データの散らばり(範囲)や最小値・最大値・中央値などの説明に、日最高気温、夏日の日数、降水日数などの度数分布が用いられていた。気候変動に関しては、箱ひげ図を用いて1909年と2009年の平均気温を比較した例があった。

気候リテラシーでは、「極端現象」や「異常気象」の理解が重要となる。気象庁は、極端な気象現象の発生頻度を「確率密度関数の10パーセンタイル以下あるいは90パーセンタイル以上の少ない頻度」、「異常気象」を「三十年間に1回程度の現象」と定義しており、数学で扱う四分位数や、数学Bで扱う「確率分布」の発展として指導できることがわかった。これらの調査を踏まえて、「異常気象の判定」の学習モジュールを作成した。

気候リテラシーにおける共通認識

IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書(IPCCAR5)の帰結である「気候システムの温暖化については疑う余地がない」は、事実として広く一般に受け入れられている。このことは担当する講義内で行ったアンケート調査でも確認でき、その証拠として山岳氷河や北極の海水面積の減少を指摘する回答が多い。また、寒い日や寒い夜の日数減少、あるいは暑い日や暑い夜の日数増加などの実感があると考えられる。

また、IPCCAR5は「人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高い」と結論付けたが、温暖化の要因としての「人間活動」には、二酸化炭素の増加に伴う所謂「地球温暖化」とヒートアイランドに代表される都市化による温暖化などが含まれる。世界の大都市における温暖化の主因は、都市化による温暖化であり、地球温暖化の寄与は相対的に小さい。このことが地球温暖化の議論をより複雑にしていると言える。本研究では、東京と北京で観測された気温と降水量から、両都市の気候変化(1951年~2012年)の共通点と相違点を調査した。

地球温暖化や気候変動の議論では、平均気温の変化やその長期傾向が議論されることが多い。しかし、東京と北京のデータを用いた分析では、データの分布(出現頻度)や変化パターン(季節進行)などの変化に注目する必要があることがわかった。それは、私たちが日々経験するのは「天気」であり、統計的な結果としての「気候」ではないからである。例えば、平均気温に変化がない場合でも、分散が大きくなると、極端現象(異常低温や異常高温)の出現頻度が高くなる。そして、平均と分散が変化すると、その対応は難しく

なる。例えば、地球温暖化にあっても冷夏や厳冬は起こる。これは気候の変動性が内在しているからであり、温暖化と何ら矛盾することはない。しかし、冷夏や厳冬を経験すると一般市民やマスコミからは「地球温暖化が終わった」などといった議論が起こる。一般市民の天気と気候に対する理解を増進する必要がここにある。

そして、地球温暖化あるいは気候変動のような地球規模の問題に対応するには、世界の国々が協力して解決していく必要がある。しかし、地球環境問題に対する政策が国際社会あるいは国として合意できたとしても、国際社会や国を構成する一人一人の意識や行動パターンの変革なくして、その実効性を高めることはできない。東京と北京の比較からも明らかのように、世界の人々が経験している天気の変化は、共通点よりも相違点の方が多い可能性があり、地球規模の環境問題に対する共通認識を構築するには、理解増進・教育普及活動が必要なのである。これらの調査を踏まえて、「気候とその変化の比較」に関する学習モジュールを作成した。

気候リテラシーにおける工学的な手法

2011年の福島第一原発事故以来、再生可能エネルギーに対する期待はさらに高まっており、国民には国のエネルギー政策に対する賛否が問われている。エネルギー政策は気候リテラシーでも重要課題である。本研究では、風力発電と太陽光発電、水素燃料電池など「再生可能エネルギーのエネルギー変換効率」に関する学習モジュールを作成した。

また、再生可能エネルギーに関しては、変動性という重要な課題がある。例えば、太陽光発電と風力発電のハイブリッド・システムは、既に街灯などに利用されている。これは太陽光発電と蓄電システムだけでなく、点灯する夜間にも風力によって発電することが期待されている。しかし、風が夜間に弱いことはあまり認識されていない。そこで、「再生可能エネルギーの変動性」に関する学習モジュールを作成した。

そして、再生可能エネルギーの利用技術に関しては、パララックス社の「太陽追跡」教材、レゴ®マインドストームを利用したエネルギー教材、バーニア社の「太陽追跡」教材などがある。しかし、実際の太陽光発電では、太陽追跡機能を組み込まれた施設もあるが、固定式の施設の方が圧倒的に多い。一方、大型風力発電施設では、風力発電機を風向の変化に追従させるヨー制御が広く用いられている。そこで、「再生可能エネルギーの利用技術」に関する学習モジュールを作成した。

気候の変化に関する一般認識

近年、ゲリラ豪雨に関する報道が多くなり、大学で気象学を担当していると「東京では強い雨の頻度が高まっているか？」と聞かれることが多く、このテーマは市民の関心が高い。

そこで、東京の降水量の経年変化を調査した。東京の年降水量の経年変化を分析すると、少雨期（1886～1900年、1961～1990年）と多雨期（1901～1930年、2001～2015年）と変動期（1931～1960年）に区分することができ、その妥当性は平均年降水量と年降水量の標準偏差で確認できた。

1961～1990年の少雨期は、1886～1900年の少雨期以外の間に、統計的に有意な差（信頼度水準95%）が認められた。また、月降水量で比較すると、1961～1990年の10月の月降水量が、との期間に対して有意な差（信頼度水準95%）が認められた。

日降水量を階級に分け、その年間回数の経年変化を調べたが、直線的な経年変化よりも増減を繰り返す変動が顕著であった。ただし、降水量0.0mmの日数は統計的に有意な増加が認められた。その結果、降水日（日降水量>0.0mm）の平均日降水量の増加（信頼度水準99%）が認められた。

日降水量を年毎に順位付けし、各順位の日降水量の経年変化を線形近似して調べると、順位19位（平均日降水量24.2mm）までは正の傾き、順位20位以降は負の傾きとなり、雨の降り方の変化が確認できた。尚、日降水量100mm以上などの年間観測回数の経年変化も調べたが、線形関係よりも、30年程度の周期変動が顕著であった。

結果は、東京に関する先行研究と整合的であったが、気象庁の異常気象レポートにある日本を対象とした経年変化とは異なる特徴が認められた。これは全国各地の降水量が強調あるいは打ち消し合った結果が平均となるからだろう。また、降水量は年、季節、月、日などのデータ期間により、その変化傾向が異なることも確認できた。私たちが経験する天気（降水）は地域に強く依存するので、全体としての変化を実感することは難しい。報道されているようなゲリラ豪雨の増加をデータから示すことはできなかった。これらの結果から、「年代別平年値の差の検定」と「長期変化傾向（トレンド）」に関する学習モジュールを作成した。

高校生ための環境科学講座

学習モジュールの効果測定と広報普及を目的として、日本学術振興会のひらめきときめきサイエンス事業の支援を受けた高校生のための環境科学講座を開催した。

2013年は「天気予報と気候変動」をテーマとし、天気と気候、気象観測と気候シミュレーションに対する理解と共に不確実性の理解を目標とした。参加者は8名であり、アンケートでは、約63%が「面白かった」と回答した。また、50%が「とてもわかりやすかった」、「非常に興味がわいた」と回答した。

2015年は「気候変動と再生可能エネルギー」をテーマとし、異常気象と気候変動、気候変動対策として再生可能エネルギー、統計的な見方と工学的手法に対する理解を目標

とした。参加者は 13 名であり、アンケートでは、約 83%が「とても面白かった」と回答した。また、58%が「とてもわかりやすかった」、「非常に興味がわいた」と回答した。

2013 年度と 2015 年度の比較から、科学的な手法よりも、工学的な手法の方が、身近に感じてもらえる可能性のあることがわかった。しかし、工学部の人気が低迷する現状を考えると、「食わず嫌い」に食べてもらうような仕掛けの必要性が示唆された。例えば、制御技術をテーマとしても、ロボット工学入門とするよりも、再生可能エネルギーの利用技術とする方がより多くの高校生に興味を持ってもらえる可能性があることがわかった。

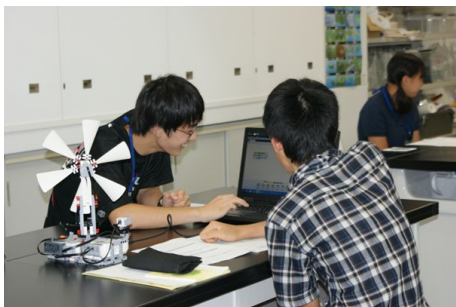


図 1. 環境科学講座の実施状況

(3) 気象・気候 WEB サイト

本研究の成果である学習モジュールの普及および情報発信を目的として、気象・気候 WEB サイトを立ち上げ、適宜、更新している。



図 2. 気象・気候 WEB サイト

TED (Technology Entertainment Design) TED は、気候リテラシーの育成に利用できる講演を数多く提供している(表 3)。また、TED の講演には日本語字幕が用意されているので、開発カリキュラムに組み込むことが可能と考え、各講演に対する質問案を作成し、各講演のリンク共に提示した。

表 3. 利用可能な TED レクチャー

- ・アル・ゴア：気候変動についての楽観論

- ・アリス・ボウズ＝ラーキン：気候変動は進行中 私たちの選択は？
- ・ギャビン・シュミット：気候変動によって出現する異常な気象パターン
- ・ニコラス・スターン卿：気候の危機 私達ができるかもしれないこと
- ・ナオミ・オレスケス：科学者を信頼すべき理由
- ・ジェームズ・ハンセン：なぜ気候変動について叫ばなければならなかったか(2012)
- ・ジョナサン・フォーリー：もう一つの「不都合な真実」
- ・ジェームズ・パログ：コマ落とし撮影カメラが捉えた極地氷の喪失の証拠
- ・ジェーン・ポインター：バイオスフィア 2 での生活
- ・デイビッド・キース：温暖化問題に対するジオエンジニアリングを見直す
(<https://www.ted.com/>)

気象・気候実験の映像化

学校教育の現場は、時間的に余裕がなく、新しい実験を準備する時間がないのが現状であると考え、実験教材をビデオやタイムス動画、超スロー動画(高速度撮影)により映像化し、YouTube にアップロードすると共に、開設した気象・気候 Web サイトにリンク頁を作成し、公開した。

気象データなどの入手先リンク

日本国内の気象データは気象庁 WEB サイトから簡単に入手することができる。しかし、海外の気象データの入手先を見つけることは、それほど容易ではないが、貴重なデータが公開されている。例えば、英国のハドレーセンターの月平均値は 1662 年から、チェコのプラハのクレメンティヌスの日平均値は 1775 年から今日までのデータを手に入れるがあまり知られていない。そこで、気象データの入手先のリンクを作成した(表 4)。

表 4. データ入手サイト

- ・NASA IMAGES of CHANGE
<http://climate.nasa.gov/>
- ・気象庁
<http://www.data.jma.go.jp/>
- ・Beijing Climate Center
<http://bcc.cma.gov.cn>
- ・Prague Clementinum Regular meteorological measurements from 1752.
<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum?l=en#>
- ・Hadley Centre Central England Temperature (HadCET) dataset
<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcet/>

また、本研究のメンターである Dr. Hansen, James & Dr. Sato, Makiko によって運営されている“Updating the Climate Science: What Path is the Real World Following?” の許

可を得て、同サイトへのリンクと共に図表タイトル翻訳を行った。

本研究の成果の公表は、気象・気候 WEB サイトを通して、動的に行うことができるようにした。その理由は、「気候リテラシー」には、気候変動やその対応策などに関する新しい知見に対して、その信憑性や実現可能性、利用価値などを総合的に判断し、取捨選択していく能力が含まれており、また本研究で定義した「気候リテラシー」が将来修正されることは確実であると考えられるからである。

文部科学省が次期学習指導要領に導入を決定した数理探究（仮称）は、本研究で提案した理科と数学の連携や工学的手法などと調和的である。また文科省は 2020 年から、学校教育におけるプログラミングの必修化を発表した。本研究でもレゴ®マインドストーム（GUI）を利用したプログラミング指導の有効性を示すと共に学習モジュールを作成した。本研究の当初の目標として、「成果がポスト 2015 年開発目標策定に貢献すること」を掲げていたが、少なくとも本研究の成果が、文部科学省の方向性と一致していることが確認できた。

<参考サイト>

気象庁、「異常気象レポート 2014」,

http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/

文部科学省、学習指導要領

http://www.next.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/index.htm

Climate Literacy

<http://cpo.noaa.gov/OutreachandEducation/ClimateLiteracy.aspx>

IPCC、IPCC 第 5 次評価報告書

<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. 坪田幸政, 町田キャンパスの気象 2015, 桜美林論考『自然科学・総合科学研究』, 査読有, 第 7 号, 2016, pp.1-29.

2. 坪田幸政, 町田キャンパスの気象 2014, 桜美林論考『自然科学・総合科学研究』, 査読有, 第 6 号, 2015, pp.61-1.

3. 坪田幸政, 町田キャンパスの気象 2012・2013, 桜美林論考『自然科学・総合科学研究』, 査読有, 第 5 号, 2014, pp.1-49.

4. 坪田幸政, 小中高における天気と気象の学習, 理科教室, 科学教育研究協議会誌, 査読無, 第 56 巻, 第 6 号, 2013, pp.38-42.

〔学会発表〕(計 10 件)

1. 町田沙季, 坪田幸政, 東京における降水量の経年変化, 2016 年度春季大会講演予稿集, 109, p.199, 2016/5/19, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都).

2. 坪田幸政, 地球温暖化と気候変動～その

考え方と理解増進活動～, 第 15 回北京大学・桜美林大学シンポジウム, 論文集, pp.68-87, 2015/11/7, 北京大学(中国).

3. Tsubota, Yukimasa, Teaching STEM through renewable energy for non-science major college student, EMS Annual Meeting Abstracts, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 12, EMS2015-170, 2015, 15th EMS/12th ECAM, 2015/9/8, ソフィア(ブルガリア).

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2015/EMS2015-170.pdf>

4. 坪田幸政, 気候変動をテーマとした理科と数学の連携, 日本科学教育学会年会論文集, 39, pp.402-403, 2015/8/23, 山形大学(山形県).

5. 坪田幸政, 原佑実, 再生可能エネルギーの利用技術に関する教材-「太陽追跡」教材を中心として-, 日本エネルギー環境教育学会第 10 回全国大会論文集, pp.66-67, 2015/8/3, 京都教育大学(京都府).

6. Tsubota, Yukimasa, Climate Literacy and Curriculum development for Climate-Change Education, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 11, EMS2014-71, 2014, 14th EMS / 10th ECAC, 2014/10/10, プラハ(チェコ)

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2014/EMS2014-71.pdf>

7. 坪田幸政, 体験講座のための教材: ペーパークラフト風車とソーラーオープン模型, 日本エネルギー環境教育学会第 9 回全国大会論文集, pp.28-29, 2014/8/10, 東邦大学(千葉県).

8. 坪田幸政, エネルギー変換効率と再生可能エネルギーの実験, 日本エネルギー環境教育学会第 9 回全国大会論文集, pp.118-119, 2014/8/10, 東邦大学(千葉県).

9. 坪田幸政, 増田有俊, ニューヨーク市を対象とした局地天気予報の比較, 日本気象学会 2013 年度秋季大会講演予稿集 104 p.375, 2013/11/20, 仙台国際センター(宮城県).

10. Tsubota, Yukimasa, International Comparison of Weather and Climate Education for Primary Schools, Vol. 10, EMS2013-156, 2013, 13th EMS / 11th ECAM, 2013/9/10, リーズ大学(英国), <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2013/EMS2013-156.pdf>

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.obirin.ac.jp/tsubota/home/>

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 なし

(3) 連携研究者 なし