

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月1日現在

機関番号：32605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500820

研究課題名（和文）理科における気候変動教育のための学習モジュールの開発とその国際比較

研究課題名（英文）Learning-Module Development for Climate Change Education within Science Education and the comparison with its International Counterparts.

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）：理科の枠組みで行う気候変動教育の学習モジュールを開発し、その効果測定を実施した。その結果、理科の枠組みで行った場合、学習者の科学的な理解を深めることはできるが、行動パターンや意思決定には必ずしも期待した効果が得られないことがわかった。また、諸外国では気候変動教育が、市民教育の一環として実施されていることも多いことがわかり、今後、理科の枠組みを越えた気候変動教育のカリキュラムの構築が必要であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：Climate-change learning modules within a science framework were developed and evaluated via outreach programs. Our modules could enhance the understanding of the science behind climate change but they fail to change their expected behavior pattern and the preferences of policy options. Climate-change courses are part of citizenship/public education in foreign countries. We conclude that climate-change education should be built beyond the framework of science education.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2011年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2012年度 | 900,000   | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：気候変動，持続可能，学習モジュール，理科，国際比較

## 1. 研究開始当初の背景

2014年までの「持続発展教育の10年」（ユネスコ），また2009年に告示された新学習指導要領の高等学校理科に「環境問題や科学技術の進歩と人間生活にかかわる内容等については，持続可能な社会をつくることの重要性も踏まえながら，科学的な見地から取り扱うこと」と記載され，持続発展教育の実践が

要請されていた。

本研究の問題意識は，持続発展教育における気候変動教育を，理科の枠組みの中でいかに実現するかということにある。

## (1) 理科教育上の問題点

理科で学習する探求過程で地球温暖化を取り上げた場合，100年後の予想（仮説）を

検証することができないという問題がある。また、気候システムにおける不確実性の概念理解が必要となる。つまり、気候変動教育を科学的見地から行うためには、科学の方法に対する理解を深化させる必要があった。

## (2) 科学リテラシーに関する課題

生徒の学習到達度調査 (PISA) における科学リテラシーの定義は、「自然界や人間活動により起きる自然の変化について理解したり、意思決定の助けとするための、科学的知識を使う能力や課題を明確にし、証拠に基づいた結論を導く能力」であり、気候変動教育では気候変動に対する理解を深めるだけでは不十分であり、理解を踏まえた意思決定や生活スタイルの転換へ導くことが必要となる。つまり、概念理解だけではなく、学習者にとって強い動議付けと成り得る学習モジュールの開発が必要であった。

## 2. 研究の目的

持続可能な社会の構築に向けた教育に利用するために、気候変動をテーマとした学習モジュールを開発すると共に、国内外の気候変動教育の先行研究を調査・分析する。本研究のねらいは、ユネスコの持続発展教育を新学習指導要領に従い、理科の枠組みで行う場合の問題点と解決策を探ることである。つまり、気候変動教育を新学習指導要領の要請である「科学的な見地から取り扱うこと」を可能とすることが本研究の目的と言える。そのために、気候変動に関する知識理解を増進すると共に、学習者の意思決定に影響を与え、生活スタイルの転換へと導くことのできる学習モジュールを開発する。具体的な目的として、次の(1)~(3)を設定した。

### (1) 気候変動教育の国際比較

日本と米国と英国を中心に初等教育における天気と気候の学習を比較する。また、発展途上国の例として、バングラデシュの初等教育を取り上げ、先進国の教育内容と比較し、分析する。そして、米国と日本を中心として、社会教育にける気候変動教育を比較する。

### (2) 学習モジュールの開発

開発する学習モジュールとテーマとその目的を次に示した。

#### ① 天気予報

気候の原点である天気についての理解を深め、天気予報を通して、私たちの天気に対する理解の限界を学ぶ。

#### ② オゾン層

地球環境問題の成功事例としてオゾンホールの問題を取り上げ、科学と国際社会の関係について学ぶ。

#### ③ 地球温暖化

自然起源と人為起源の気候変化を理解し、気候の変動性と気候変動、気候予測と不確実性について学ぶ。

#### ④ 風力発電

気候変動に対する緩和と適応で必要となる再生可能エネルギーの現状と将来性、長所と短所などについて学ぶ。

### (3) 学習モジュールの評価

高校生ための環境科学講座やサイエンスキャンプ、学部の講義、教員研修会で開発した学習モジュールを利用して、その評価を行う。また、評価に関して、短期的取り組みと長期的取り組みによる違い、高校生と大学生、教員という年齢層による違い、男性と女性による違いという三つの観点から、総合的に評価するものとする。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究体制

気候変動教育の国際比較と「地球温暖化と気候変動」を除いた学習モジュールの開発については、研究代表者が担当した。「地球温暖化」の学習モジュールについては、学外協力者のチャンドラー博士 (コロンビア大学) とソル博士 (コロンビア大学) と共に行った。学習モジュールの評価については、学内協力者の片谷教孝教授、森厚准教授、有賀清一講師と共に行った。また、理科教員による評価については、神奈川県総合教育センターと連携することで実施した。また、教材開発とデータ処理などについては、本学リベラルアーツ学群大気環境研究室所属の学生諸君の協力を得た。

### (2) 研究方法と計画

① 気候変動教育の国際比較については、日本、米国、英国、バングラデシュの教科書、カリキュラムを入手して分析する。また、欧州気象学会などの教育セッションに参加することで、情報収集および人的ネットワークを構築し、社会教育分野について調査・分析する。

② 「地球温暖化」の学習モジュールについては、チャンドラー博士らが実施している教育用全球気候モデルを利用したアウトリーチプログラムから教材の提供を受け、日本語化と共に改良を加えることで開発する。それ以外の学習モジュールに付いては、大気環境研究室の学生と共に開発する。

③ 学内の研究協力者と共に学術振興会のひらめき☆ときめきサイエンス事業と科学技術振興機構のサイエンス・キャンプ事業に応募して、高校生向け講座を開催し、その中で開発教材の評価を実施する。また、研究代表者が担当する気候関連科目においては、大学生を対象とした評価を行う。そして、理科教

員による評価については、神奈川県総合教育センターが主催する教員研修講座を本学で開催し、講師として参加することで実施した。これは本研究費申請時に予定していた科学技術振興機構の理数系教員指導力向上研修事業が、2010年度から廃止されたための措置である。

#### 4. 研究成果

##### (1) 気候変動教育の国際比較

学校教育については、日本と英国と米国の義務教育のカリキュラムと教科書から比較した。日本と英国のカリキュラムについては、それぞれ学習指導要領とナショナルカリキュラムを調査した。

米国には、学習内容に関する国レベルの規定がなく、学習内容は各州政府に任されているので、WEBに公開されているニューヨーク州のカリキュラムについて調査した。ただし、このカリキュラムは1993年に発表されたプロジェクト2061による科学リテラシーのベンチマークや1996年に発表された全米科学教育スタンダードに準拠したものであり、日本と英国の国レベルのカリキュラムと比較することに問題はないと判断した。

調査した教科書の一覧を表1に示した。

表1. 本研究で使用した教科書一覧

|   |
|---|
| 東京書籍：「新しい理科」，平成23年                              |
| 東京書籍：「新しい社会5上」，平成23年                            |
| 大日本図書：「たのしい理科」，平成23年                            |
| Houghton Mifflin, Science Grade 3~6, 2010       |
| Oxford Univ. Press, Geography Success 1~4, 2011 |

日本では天気と気候を科学的に学習しないが、英国と米国では天気と気候を科学の立場から学習していることが大きな相違点である。例えば、雲の発生や風の原因など、日本の理科では学習しない科学的な内容が、英国や米国では学習されている。また、日本と同様に島国の英国では、海に関する学習が組み込まれているが、日本では海について学習しない。ニューヨークのカリキュラムでは、ここでは調査対象から外した8年生まで学習（義務教育）に海が組み込まれていた。

初等教育において気候変動教育を理科の枠組みで実施するには、海も含めた天気と気候を科学的に指導することが必要であり、日本の現在の状況では困難であることがわかった。また、発展途上国の例として調査したバングラデシュについては、2013年度版小学校用理科教科書に「天気と気候」、「気候変動」が組み込まれていた。特に気候変動については、自国の適応策が盛り込まれており、その比重は緩和策よりも大きく、先進国よりも強調されていた。

##### (2) 学習モジュール

本研究の申請段階では、「オゾン層」、「天気予報」、「地球温暖化」、「風力発電」の4テーマを中心に学習モジュールを開発する予定であったが、最終的にテーマを一般化して、次に示した①~④のように変更した。開発した学習モジュールは、順次、ウェブで公開して行く予定である。各テーマに関して、現時点で公開中の学習モジュールを次に示した。

##### ①オゾン層の科学と国際社会

- ・オゾン層の科学
- ・紫外線の測定
- ・紫外線とオゾンに関する実験と演習

##### ②天気と天気予報の科学

- ・空気と天気に関する実験
- ・雲の十種雲形

##### ③地球温暖化と気候変動の科学

- ・気候モデル入門
- ・EdGCMの使い方
- ・シミュレーションの事後処理
- ・海面水温の影響実験
- ・二酸化炭素2倍実験
- ・地球温暖化シミュレーション
- ・気候のフィードバック過程
- ・グリーンランドの温暖化影響評価

##### ④再生可能エネルギーの科学

- ・再生可能エネルギー科学教育マニュアル
- ・再生可能エネルギーの実験
- ・風力発電の指導マニュアル
- ・風力発電所の写真

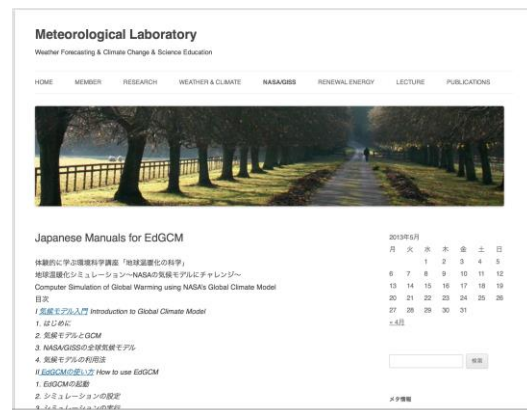


図1. 学習モジュールの公開のWEB

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

教育用全球気候モデル (EdGCM) については、学習モジュールだけでなく、シミュレーションの結果も提供することとした。これは一般的なPCを利用して、100年分のシミュレーションの実行には、CPUやメモリーなどに依存するが、数時間から数日を要するための対処である。また、EdGCMの事後処理は容易で

はあるが、目盛りの設定など、慣れないと時間がかかる場合がある。そこで、この結果を利用することで、結果を比較する所から学習を始めることができるようにした。

## EdGCM Sample Results

### CO2 Emission Scenarios

Modern Specified SST Experiment  
 Modern Predicted SST Experiment  
 Double CO2 Experiment  
 Global Warming Experiment  
 IPCC A1FI Scenario

### Time Series

Modern Specified SST Experiment  
 Modern Predicted SST Experiment  
 Double CO2 Experiment  
 Global Warming Experiment

### EdGCM Teaching Tips

1. How do you read the time-series output from a specific scenario
2. Comparing different elements within a specific scenario
3. Comparing a specific element between different scenarios

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Temperature                      | Sea Surface Temperature       |
| Planetary Albedo                 | Ground Albedo                 |
| Precipitation                    | Evaporation                   |
| Total Cloud Cover                | Water Content                 |
| Snow Cover                       | Ocean Ice Cover               |
| Net Radiation Absorbed by Planet | Net Heating at Ground Surface |

図 2. EdGCM の結果の公開

(3) 気候変動教育の効果

#### ① 短期的取り組み (高校生)

2009 年～2011 年のサイエンス・キャンプに行った事前・事後テストにより、気候変動教育の効果分析を行った。事前・事後テストは英国の気候変動教育プロジェクト (The Risky Business project) で使用されたものを翻訳して利用した。参加者に関する情報を表 2 に示した。参加希望者数は、毎年 20 名以上有り、参加者は全て第一希望での受講となっている。

表 2. サイエンス・キャンプ参加者

| 年度   | 1 年生 | 2 年生 | 3 年生 | 計     |
|------|------|------|------|-------|
| 2009 | 4(2) | 5(4) | 1(0) | 10(6) |
| 2010 | 4(2) | 6(3) | 2(1) | 12(6) |
| 2011 | 3(1) | 7(4) | 2(1) | 12(6) |

注：( ) 内は女子の人数

事前・事後テストでは、地球温暖化に関する認識や意識 8 項目、例えば「気候変化は現実に起こっている」という主張に対して、「5. 強く同意する」から「1. 強く同意できない」の 5 段階リッカート尺度による回答を得て、分析を行った。その結果、事前・事後を 8 項目の平均値で比較すると、有意水準 1% でその差が認められ、サイエンスキャンプの効果が確認できた。また、その効果量 (Cohen's D) が 0.47 であり、中程度の効果であることがわかった。しかし、項目毎にその差を検定すると、「気候変

化は現実に起こっている」については、有意水準 1% でその差が認められたが、それ以外の 7 項目については、有意な差は認められなかった。そこで、参加者を男女に分けて分析した結果、女子については全ての項目で差がプラスであるのに対して、男子については差がマイナスとなる項目があり、その結果、項目毎には有意な差が認められなかったことがわかった。このことは、短期的な取り組みに対する効果では、男女に差が出る可能性が示唆された。

また、事前・事後テストでは、地球温暖化対策に関する政策 13 項目、例えば、「温室効果気体をより多く排出する企業に、より高い炭素税を課すべきである。」という主張に対して、「4 大いに賛成する」から「1 大いに反対する」の 4 段階のリッカート尺度による回答を得て、分析を行った。その結果、事前・事後を 13 項目の平均値で比較すると、有意な差は認められなかった。そこで、参加者を男女に分けて分析した結果、女子では「すべての家庭廃棄物の 60% をリサイクルすることを確実にすることを目標とする」と「航空機の運航本数を制限することで、乗客が半分以下の運航を削減する」と「すべての家に水道メータを設置する」に関しては、有意水準 5% でその差が認められた。一方、男子については「すべての家庭廃棄物の 60% をリサイクルすることを確実にすることを目標とする」において、マイナスで有意水準 5% の差が認められた他は、有意差は認められなかった。政策に対しては、大きな男女差が認められ、その結果全体としての効果が認められなかったことがわかった。

#### ② 長期的取り組み (大学生)

横浜市内 K 大学で 2008 年度から 2011 年度の秋学期に担当した地学 II において、短期的取り組みで用いた評価方法でその効果を検証した。地学 II では、米国の Global Change Instruction Program で開発された学習モジュールから 5 つを翻訳した「地球システムの科学」を教科書として利用した。評価対象者は事前・事後テストの受験者とし、その内訳を表 3 に示した。

表 3. 事前・事後テスト受験者の内訳

|   | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 計  |
|---|------|------|------|------|----|
| 男 | 8    | 12   | 16   | 9    | 45 |
| 女 | 8    | 5    | 13   | 7    | 33 |
| 計 | 16   | 17   | 29   | 16   | 78 |

地球温暖化に関する認識や意識 8 項目の平均については、有意水準 5% でその差が認められ地学 II の効果が確認できた。ただし、その効果量 (Cohen's D) は 0.26 であ



り、効果の程度は低かった。項目毎の差を調べてみると「人間活動により、気候変化は加速している」に関して、有意水準 5% でその差が認められた。男女別で項目毎に分析すると、女子では「政府は気候変化の進行を抑えるために、そのために物価が上昇するとしても、税や法律を直ぐに導入すべきである」において、有意水準 5% でその差が認められたが、男子については認められなかった。

地球温暖化対策に関する政策 13 項目の平均についても、有意水準 5% でその差が認められ地学Ⅱの効果を確認できた。しかし、項目別では有意な差を確認することはできなかった。また、男女別で分析した結果、各政策に対する好みは男女で異なることは確認できたが、事前と事後を比較して有意な差は確認できなかった。

### ③ 短期的取り組み（理科教員）

教員研修における事前・事後テストによる効果測定は 2010 年度に実施した。オゾン層、紫外線、地球環境問題に対する取り組みなどに関する 24 項目について、○×形式で回答するテストを実施した。参加者は養護学校 3 名、小学校 6 名、中学校 2 名、高等が高 14 名で合計 25 名であった。

研修によって改善は認められたものの、事後でも正答率の低かった項目が 4 項目であった。例えば、「紫外線の量が最大になるのは正午頃である。」は 23% 上昇した事後の正答率は 62% であった。これは事前・事後テストの内容が知識問題であったことが原因であり、評価法にも問題があったと考えられる。

一方、研修がマイナスの効果をもたらした項目が 2 つあった。一つは、「現在はフロン製造を中止したので、成層圏のフロンはどんどん減少している。」であり、講義の中でフロンは安定物質であり、長い期間存在し続けることは説明したが、オゾンホールの問題が国際協力の結果、解決に向かっていることも説明したことが大きく影響したと考えられる。もう一項目は「地球温暖化は、オゾンホールの問題とは関係していない。」であり、研修でオゾンホールの今後の説明で、地球温暖化により成層圏がより寒冷化すると、オゾンホールの回復が遅れると説明したが、結果としては研修者には正しく認識してもらえなかった。

これらのことから、評価ツールの開発の重要性が確認できたことと、短期的取り組みでは、期待通りの効果が得られないことが確認できた。

### (4) まとめ

本研究のまとめとしては、理科の枠組み

で開発した開発した学習モジュールが PISA 型の科学リテラシー「自然界や人間活動により起きる自然の変化について理解したり、意思決定の助けとするための、科学的知識を使う能力や課題を明確にし、証拠に基づいて結論を導く能力」を育成する（影響する）ことはできるが、学習者の結果としての意思決定が必ずしも期待される方向に向うとは限らないことである。また、結果としての意思決定の方向性は、学習にかかる時間や性別、年齢に依存する可能性が示唆された。気候変動教育に関する国際比較からは、理科における学習内容の拡充だけでなく、理科の枠組みを超えた取り組みが必要であることが確認された。

### 参考サイト

- ・ Risky Business Report - Sciencewise-ERC  
<http://www.sciencewise-erc.org.uk/cms/assets/Uploads/Risky-Business-Final-Report.pdf>
- ・ Global Change Instruction Program  
<http://www.ucar.edu/communications/gcip/>

### 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 7 件）

- ① 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.
- ② 坪田幸政、初等教育における天気と気候の学習に関する国際比較、日本科学教育学会年会論文集、36、2012、pp. 383-384.
- ③ 坪田幸政、町田キャンパスの気象 2011、桜美林論考『自然科学・総合科学研究』、査読有、第 3 号、2012、pp. 1-31.
- ④ 坪田幸政、町田キャンパスの気象 2010、桜美林論考『自然科学・総合科学研究』、査読有、第 2 号、2011、pp. 83-113.
- ⑤ 中村公哉・坪田幸政・片谷教孝、体験講座のための教材開発～ソーラーオープン模型～、日本エネルギー環境教育学会第 6 回全国大会論文集、2011、pp. 44-45.
- ⑥ 坪田幸政・熊谷信広・相馬敬、バンガラデシュの初等教育における気候変動教育の試み、日本科学教育学会年会論文集、34、2010、pp. 449-450.
- ⑦ 坪田幸政、中学 2 年「大気と海洋」指導上の留意点、理科教室、科学教育研究協議会誌、査読無、第 53 巻、第 8 号、2010、pp. 38-43.

〔学会発表〕（計 10 件）

① Tsubota, Y., Awareness and knowledge on the Ozone Depletion and its outreach program, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 9, EMS2012-203, 12th EMS / 9th ECAC, 2012/9/14, ウッチ, ポーランド.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2012/EMS2012-203.pdf>

② Tsubota, Y., M. A. Chandler, and L. Sohl, Development and Evaluation of High School Science-Camp Using EdGCM, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 9, EMS2012-164, 12th EMS / 9th ECAC, 2012/9/10, ウッチ, ポーランド.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2012/EMS2012-164.pdf>

③ Tsubota, Yukimasa, Awareness and Opinion on Climate Change and Effect of Climate-Change Education: A case Study of Non-science Major Undergraduate Students, Fourth International Conference on Climate Change: Impacts and Responses, University of Washington, Seattle, USA, 12-13, July 2012, 2012年7月13日, シアトル, 米国

④ Yukimasa Tsubota, The Practice of an Outreach Program for the Ozone-Depletion Science, 2011 IYC 03 Symposium on Stratospheric Ozone and Climate Change Abstracts Booklets, November 7-10, Washington, D.C., 2011, 1p, 2011年11月10日, ワシントンDC, 米国

⑤ Tsubota, Y., Solar-Energy Education: Making a Miniature Solar Oven, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 8, EMS2011-451, 2011, 11th EMS / 10th ECAM, 2011年9月13日, ベルリン, ドイツ

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2011/EMS2011-451.pdf>

(Outstanding Poster Award 受賞)

⑥ Tsubota, Y., Using Forecasting to Teach Weather Science, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 8, EMS2011-450, 11th EMS / 10th ECAM, 2011, 2011年9月12日, ベルリン, ドイツ.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2011/EMS2011-450.pdf>

⑦ 坪田幸政, 大学生を対象とした気候変動教育～気候リテラシー～, 大学教育学会第33回大会, 2011年6月5日, 桜美林大学.

⑧ 坪田幸政, 気候変動教育のカリキュラム開発～気候リテラシー～, 日本気象学会2011年春季大会, 講演予稿集 99, p. 139, 2011年5月19日, 国立オリンピック記念青少年総合センター.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008680621>

⑨ 坪田幸政・森厚・有賀清一, 気候変動教育のカリキュラム開発～EdGCMを利用した高

校生向け体験講座～, 日本気象学会 2010年度秋季大会, 講演予稿集, 98, p.124, 2010年10月27日, 京都テルサ.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007983218>

⑩ 坪田幸政, 紫外線観測の教育利用, 第51回大気環境学会年会, 講演要旨集, 2010, p341, 2010年9月8日, 大阪大学.

[その他]

○ホームページ情報

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

○アウトリーチ活動情報

・ひらめき☆ときめきサイエンス

2012/7/38-29 中学生1名と高校生15名  
高校生向け講座「オゾン層と気候変動の科学」

2011/7/30-31 中学生1名と高校生17名  
高校生向け講座「オゾン層と紫外線の科学」

2010/7/31, 8/1 高校生28名

高校生向け講座「オゾン層と紫外線の科学」  
・科学技術振興機構サイエンス・キャンプ

2011/8, 参加者12名

「地球温暖化シミュレーション」

2010/8, 参加者12名

「地球温暖化シミュレーション」

## 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) 研究協力者

片谷 教孝 (KATATANI NORITAKA)

桜美林大学・自然科学系・教授

研究者番号: 40242614

森 厚 (MORI ATSUSHI)

桜美林大学・自然科学系・准教授

研究者番号: 20272627

有賀 清一 (ARIGA SEICHI)

桜美林大学・総合科学系・講師

研究者番号: 00401240

Mark A. Chandler

CCSR, Columbia University

Senior Researcher

Linda E. Sohl

CCSR, Columbia University

Senior Researcher