

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12374

研究課題名(和文)グローバル化に対応する探究的な課題学習を通じた数学的コンピテンシーの育成

研究課題名(英文)Developing Mathematical Competency for Globalization through Inquiry Based Learning

研究代表者

大谷 実(Ohtani, Minoru)

金沢大学・学校教育系・教授

研究者番号：50241758

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文):教育のグローバル化やキーコンピテンシーの育成が喫緊の課題となる中で、高等学校数学科での探究的な課題学習の在り方を提言するために、代表者が学校長である金沢大学附属高等学校数学科と協働し、次の3つの課題に取り組んだ。(1)数学科においてグローバルな社会課題を用いて探究的な授業実践を行った。(2)オランダのユトレヒト大学が実施する「数学A-lympiad」の予選と本選に東アジアから初参加し、3位に入賞した。また、米国COMAPが主催する「国際数学モデリングチャレンジ」にも日本から初参加した。(3)「オランダ教育測定研究所」(Cito)による全国最終試験問題を分析し多面的評価指標の開発を行った。

研究成果の概要(英文):Developing key competencies for globalized society is one of crucial issues in secondary education. The research aims at proposing promising mathematical practice that may foster key competencies for high school students. As principal, the author engaged with the following three tasks in collaboration with mathematics teachers of Kanazawa University senior high school: (1) integrate tasks that address to the global issues into high school mathematics lessons; (2) participation in international mathematics team competitions of Dutch "Math A-lympiad" by Utrecht University and "International Mathematical Modelling Challenge" by COMAP. Kanazawa University senior high school recorded the first participation to these competitions from East Asia and Japan respectively; (3) development of multi-dimensional assessment framework by analyzing the tasks of the final national graduation examination. These tasks are developed by the Dutch Central Institute for Educational Measurements (Cito).

研究分野：数学教育学

キーワード：数学的コンピテンシー グローバル化 探求 協働 課題学習 コンテスト

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 21世紀は「知識基盤社会」の時代であると言われている。知識基盤社会では、グローバル化と技術革新が進み、幅広い基礎的教養、課題発見と課題解決に必要な柔軟な思考力・判断力・表現力、異なる人々と協働したり異なる意見を配慮して妥協点を見出したりする資質・能力の育成が重要となる。OECDはこうした資質・能力を「主要能力(キーコンピテンシー)」と呼び、PISA調査の枠組みの基盤に据えている。

(2) 申請者は、OECD・PISA調査の「数学」と「問題解決」の国内専門委員をつとめ、その関連で、オランダのフロイデンタール研究所が提唱する「現実的数学教育論」に関心をもち、オランダの現地調査を行い、我が国とは全く異なる数学教育の在り方を知った。我が国とは対照的に、オランダの数学教育では数学を日常生活や実社会の事象を組織化する上で有用で、学習者にとって真実味があることを重視している。特に、興味深いことは、グローバル化における探究的な課題学習として、「数学A-lympiad」というコンテストが実施されていることである。これは、4-5名のチームが、社会的な課題に対して、初等的な数学を柔軟に活用しながら、1日をかけて協働で問題解決を行い、レポート作成やプレゼンテーションをするものである。こうしたキーコンピテンシーを育成するための課題やコンテストを、わが国においても導入することは挑戦に値すると考えた。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、教育のグローバル化やキーコンピテンシーの育成が喫緊の課題となる中で、高等学校数学科における探究的な課題学習の有望な在り方を提言することを目的とする。その際、代表者が学校長を勤める金沢大学附属高等学校数学科と協働し、オランダで実施

される国際A-lympiadコンテストを参考としながら、授業で探究的な課題学習の実践を行う。最終的に、国際A-lympiadの予選と本選に東アジア諸国から初参加し、生徒のパフォーマンス評価を通して、キーコンピテンシーの育成レベルを評価する枠組みを開発する。

(2) 本研究の目標を達成するために、以下の3つの下位目標を設定した。

- ・数学A-lympiad課題を参考に高等学校数学科における探究的な課題学習をデザインする。
- ・附属高等学校数学科と大学教員が協働して探究的な課題学習を授業で実施する。
- ・数学A-lympiadに初参加し、国際指標をもとにパフォーマンス評価の枠組みを開発する。

## 3. 研究の方法

(1) 上記の研究目標の達成のために、本研究では3年間にわたり次のような計画を立て取り組んだ。平成25年度は、グローバルな社会課題と関連するような探究的学習課題を、オランダの数学A-lympiadの過去の課題を翻訳・検討し、課題学習の教材開発を行う。また、授業においてそのような課題を実施する時間を年間指導計画に位置付け、過去の数学A-lympiad課題を用いた授業を実施する。平成26年度は、探究的な課題集を作成するとともに、課題学習の授業を実践する。さらに、オランダでの数学A-lympiad予選会(11月第2週の金曜)と本選(翌年3月第2週の土日)に参加するとともに、他の似寄りの数学コンテストにも参加を試みる。平成27年度は、数学コンテストに継続的に参加するとともに、探究的な課題を蓄積するとともに、探究的な課題学習の実施を通して育成されたキーコンピテンシーを評価するための多面的な指標を、オランダの評価方法を参考に開発する。

(2) 本研究では、数学A-lympiadを附属高等学校だけで実施するのではなく、他の高等学校へも普及することにも挑戦する。そのため

に、附属高等学校内に「日本 A-lympiad 準備室」を組織し、全国附属学校連盟高等学校部会において本コンテストへの参加を呼びかけ、それを基盤として、金沢大学を基幹大学として「日本 A-lympiad 委員会」を編成し、ネットワークの拡大を図るとともに、北陸三県の高等学校にも参加を募り、全国規模でのネットワークの形成を試みる。さらには、全国ネットワークの仕組みを作り、全国レベルでの国内予選会を組織し、グローバル化に対応する高大連携の新しい手法を提案する。

#### 4. 研究成果

(1) 附属高等学校数学科・学校教育学類数学教育専修教員・教職大学院教員が連携し、東アジアで初めて数学 A-lympiad コンテストの国内予選ならびに国際本選に参加した。国内予選は、平成 28 年・29 年いずれも 11 月 23 日（祝日）午前 9 時から午後 4 時まで金沢大学附属高等学校において実施し、平成 28 年度は 6 チーム 23 名、平成 29 年度は 3 チーム 12 名が参加した。国際本選は 3 月第 2 週の金・土の 2 日間をかけてオランダの Veluwe 国立公園で実施され、平成 28 年度は 2 チーム 7 名、平成 29 年度は 1 チーム 4 名が参加した。本選では、参加チームは宿泊を兼ねた個別のロッジで 2 日間に渡り課題に取り組む。本選 2 日目の午後には、参加者全員によるポスターセッションが英語で行われ、他のチームや引率教員や委員会委員の質問に答えた。



写真 1 ポスターセッションの様子



写真 2 数学 A-lympiad2016 本選集合写真

審査結果はいずれも翌年度の 4 月に発表され、平成 29 年度は、附属高等学校の生徒が 3 位（銅メダル）を獲得した。本コンテストでの日本チームの入賞は初めてのことである。

(2) 数学 A-lympiad で取り上げる課題を参考に、授業で扱える教材研究を行い、課題集を作成した。それは、日常生活や実社会に関連するもので、キーコンピテンシーを育成する上で活用できるものである。2 つ例を示す。

##### 例 1. 「風力発電」

大型の風量タービンの費用を千単位で分割してシェアする。



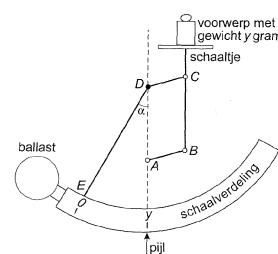
1 単位は 351€ で、500kWh を 16 年間供給する。加えて、維持費として 1 単位に対して年 17€ を支払う。ある家庭では年の電力消費が 4000kWh 必要である。次の 2 つのオプション(a)、(b)の何れが廉価か。

(a) 16年間、8ユニットを購入する。1kWh に 0.07€税金を払う。

(b) 現状のままの電力契約をする。1kWh 毎に税込みで 0.22€。かわりに前金を支払い、16 年間年率 0.3%の利子と共に払い戻しを受ける。

##### 例 2. 「郵便秤」

右図にはレタースケールの仕組みが描かれている。



矢印は  $D$  を中心として鉛直方向から回転した大きさを重さ (グラム) を表す目盛りを示している。安定器 (ballast) は、秤に何も乗せない時に  $DE$  が鉛直に設定する道具である。 $ED$  と  $BC$  の連結部は固定されている。 $y$  グラムの物を秤にのせると、結合部  $CDE$  は点  $D$  で角度  $\alpha$  ラジアン回転する。円形をした秤と安定器も回転し、矢印は秤の目盛りで  $y$  の値を指す。点  $A, B, C$  がヒンジになっているため、秤はいつも水平な状態になっている。

レタースケールでは、次の関係が成り立つ。

$$y = 70 \frac{\sin \alpha}{\sin\left(\alpha + \frac{1}{4}\pi\right)} \quad (\alpha \text{ はラジアン})$$

問 1. 図中の  $\alpha$  を測定し、 $y$  の値を求めよ。

問 2.  $y = 70$  のとき、 $\alpha$  の値を求めよ。

問 3.  $\frac{dy}{d\alpha} = \frac{70\sin\left(\frac{1}{4}\pi\right)}{\sin^2\left(\alpha + \frac{1}{4}\pi\right)}$  を示せ。

問 4. この秤には 100 グラムまでの目盛りがあり、その間隔は異なっている。目盛の間隔が最も大きい  $\alpha$  の値に対して  $dy/d\alpha$  は最小になる。 $\alpha$  の値を求めなさい。

これらの問題は、旧態依然であるわが国の高等学校の数学教育に一石を投じるものである。附属高等学校では、数学 A-lympiad の課題を数学の授業に取り入れた実践を積み重ねており、その一端を SGH 研究大会や研究紀要を通して全国に発信したり、「金沢子ども科学財団」の数学チャレンジクラブ特別講座として中学生に対して授業を実施したりしてきた。高等学校教育においてグローバルな社会課題を理系分野からアプローチすることは、わが国ではまだ未開発であり、本萌芽研究を通して、新たな試みを展開してきた。

(3) 附属高等学校数学科は数学 A-lympiad の他に、「国際数学モデリングチャレンジ」(International Mathematical Modelling

Challenge : IM2C) というコンテストに 2016 年より独自に参加した。そのために、大谷は日本のコンタクトパーソンになった。このコンテストは、理系重視のものであり、実施形態においてもインターネットを用いて連続する 5 日間で 4 名の生徒が協働してレポートを提出する点で、斬新なものである。課題はどのような数学に定式化するかが定まっていない点でオープン・エンドである。例えば、2017 年の課題は、「飛行機による時差ぼけ」であり、国際会議を開催する場所を設定する際に、飛行機の移動による時差ぼけの影響を考慮して会議の生産性が高まるようにするにはどうしたらよいか、というものである。本コンテストは 2015 年に始まったばかりであるが、欧州中心の A-lympiad と比較して、全世界の理数英才高等学校が多数参加しており、そのステータスも「国際数学教育会議」でも認知されており、優勝チームはハーバード大学での表彰式に招待される。附属高等学校はまだ入賞をしていないが、初回、2 回目と順次ランキングを上げることができた。

(4) 附属高等学校数学科、連携研究者の伊藤准教授、研究代表者の大谷が月 1 回程度研究会を開催し、「オランダ教育測定研究所」

(Cito) による全国最終試験の評価問題を分析し多元的評価指標の開発を行った。その際、「オランダからの挑戦状」という附属高等学校内のミニコンテストを実施し、生徒に Cito の課題を英文で公開し、提出されたレポートを基に、記述式問題を評価する枠組みの開発を進めている。例えば、以下のような課題がある。この課題は、高校生が難聴になっているという社会問題を話題にするものであり、こうした種類の問題はわが国では稀である。

例「発話理解問題」: 2009 年にベルギーで、フラマン語圏の 16 歳以上の大規模な集団に対して発話理解診断が実施された。その結果

は処理され、下のようなグラフになった(図1)

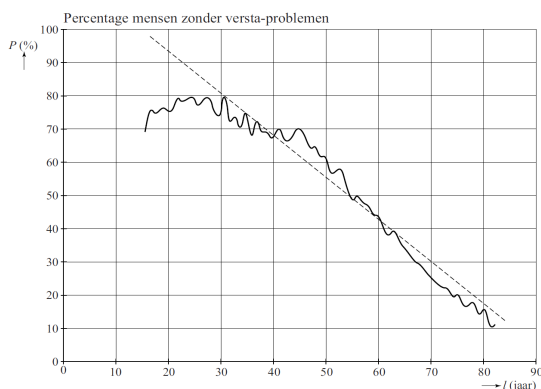


図1. 年齢と発話理解の関係

このグラフから次の事が想定された:「年齢が進むと、発話理解問題のない人の割合は減少する」。

発話理解問題のない人の割合  $P$  と年齢  $A$  の間には、おおよそ直線な関係がある。図1にひかれた傾向を表す直線(傾向線)の式を求めなさい。

あなたは、この傾向は若年層においてもあてはまると想定するでしょう: 年齢が若ければ、発話理解問題のない人の割合が大きくなると。図1から分かるように、このことはそうではない。あなたが想定する以上に、発話理解問題がある若い人が多い。その原因は、おそらく、この年齢層がMP3プレイヤーや携帯電話などで頻繁に音楽を聴いていることである。ジュリアは、この図を用いて学校新聞で若年層の発話理解問題について記事を書いた。彼女は次のような文章を書いた: “発話理解問題がある17歳の人数は、傾向直線に基づいて予想される人数の\_\_倍である”。空欄には整数が入る。この数を求めなさい。

本研究で検討した多面的な評価の枠組みは、以下のものである。

- ・最後まで成し遂げられているか
- ・数学を用いる際、根拠や過程を明確に示しているか

- ・図・表・式・グラフ等、数学的表現を適切に活用しているか
- ・課題に対する考察が深いか
- ・議論の仕方が妥当で、その判断の根拠や理由が示されているか
- ・議論の前提が明確であり、飛躍はないか
- ・読みやすさ、論の組み立て、引用・参考文献等を明示しているか

評価の枠組みの構築にあたり、基本的に数学A-lympiadおよびIM2Cのレポートを基にした。さらに、本研究では、「オランダからの挑戦状」というホームページを立ち上げて、Citoの問題をチームで解決する取り組みを奨励し、生徒のレポートを分析することにより評価枠組みの妥当性と効率性を検討している。また、ホームページを立ち上げることで、附属高等学校の取り組みを広く公開している。

(5) 数学A-lympiadコンテストは課題の秘匿性のため各国で1名のコンタクトパーソンを任命しており、日本では研究代表者の大谷がその役を務めている。これをうけて、平成28年9月には、柴田教育担当副学長と井田入試課専門職員と大谷がユトレヒト大学を訪問し、金沢大学が日本の数学A-lympiadの幹事機関になることの承認を得た。そして、まず附属高等学校内に「日本数学A-lympiad準備室」を組織した。

平成29年6月には、平成30年度に金沢大学に「日本A-lympiad委員会」を組織し、金沢大学を主会場として全国レベルの国内予選を実施し、優秀2チームをオランダ本選に派遣するために、「日本A-lympiad委員会設立のためのWG」が組織された。WGの会議は7回開催され、平成30年5月中に「日本A-lympiad委員会」を正式に組織し、11月18日に国内予選を実施する運びとなった。数学A-lympiad国内予選に多数の高等学校に参加

してもらうため、平成 29 年 10 月には、北陸四県数学教育研究（砺波）大会、本校 SGH 研究大会、全国国立大学附属学校連盟高等学校部会研究大会（大泉国際中等学校）において約 500 部のリーフレットを配布し、北越及び全国の高等学校に対して事前の広報を行った。

総じて、これらの取り組みは、一方で、金沢大学の高大接続入試改革に貢献し、他方で、新しい学習指導要領に沿った探究的な学びを推進する附属高等学校の先進校としてのミッションを果たすという 2 つの意義を有する。加えて、2 年後からスタートするコンピテンシー重視の大学入試共通試験（新テスト）での新傾向の問題と軌を一にする教材や課題の開発にもつながるものであり、本萌芽研究を通して附属高等学校と協働で取り組んだ成果は、日本の数学教育の魁となる取り組みになったと確信する。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

渡會兼也、大島崇、伊藤伸也、太谷実、オランダの理数教育と高大連携について、高校教育研究、69、2018、49-57

太谷実、伊藤伸也、川谷内哲二、高等学校における探求的・協働的な数学コンテスト、金沢大学人間社会研究域学校教育系紀要、10、2018、31-40

Gravemeijer Koeno、Stephan Michelle、Julie Cyril、Lin Fou-Lai、Ohtani Minoru、What Mathematics Education May Prepare Students for the Society of the Future?、International Journal of Science and Mathematics Education、15、2017、105-123  
DOI:10.1007/s10763-017-9814-6

伊藤伸也、国際学会参加報告(38) - Mascil (Mathematics and science for life) Final Conference、科学教育レタ

ー、230、2016、15-16

太谷実、キー・コンピテンシーを育てる算数・数学教育、長野県算数数学教育研究会誌、65、2016、145-159

外山康平、太谷実、現実場面を数学的に考察し解釈する数学的活動に関する研究、高校教育研究、68、2016、45-53

太谷実、オランダの数学教育の動向：Realistic Mathematics Education の理論と実際、筑波教育学研究、14、2016、5-25

〔学会発表〕(計 2 件)

太谷実、長洲南海男、オランダにおける STEM 教育の特色、日本教科教育学会、2017、北海道教育大学

Watson Anne、Ohtani Minoru、ICMI Studies 22 on Task Design、13th International Conference of Mathematics Education、2016、Hamburg (Germany)

〔その他〕

ホームページ等

<http://kfshs2.w3.kanazawa-u.ac.jp/cito/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

大谷 実 (OHTANI Minoru)

金沢大学・学校教育系・教授

研究者番号：5 0 2 4 1 7 5 8

(2) 連携研究者

伊藤 伸也 (ITO H Shinya)

金沢大学・学校教育系・准教授

研究者番号：1 0 5 7 0 4 3 4

(3) 研究協力者

川谷内 哲二 (KAWAYACHI Tetsuji)

戸田 偉 (TODA Suguru)

外山 康平 (TOYAMA Kouhei)

酒井 佑士 (SAKAI Yuji)