

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23501022

研究課題名(和文) 数字を通して「数学を愛する」ようになる方法の開発

研究課題名(英文) Development of the method to like to study mathematics through manipulating of a number

研究代表者

大岩 幸太郎(Ooiwa, Koutarou)

大分大学・教育福祉科学部・非常勤講師

研究者番号：90223726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：「数字で遊ぶ」ことから「数学が好きになる」ために、新しいデジタル機器iPad、iPad mini向けに2つの教育用ソフト「四則混合計算」と「かけ算九九」を開発した。開発したソフトにおいて、「数字で遊ぶ」感覚は、オリジナルにデザインしたiCardを、学習者が指でタップしたり思い通りにドラッグ移動したりすることができる操作性と操作に伴い他のiCardがずられて移動することで実現した。

また、これらのiPadアプリを利用した学習者の履歴情報は、データベースサーバーに収集され、そこから学習効果を高めるための情報を得ることができる支援システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：In Japan, most people may calculate "multiplication table" without pencil and paper, and enjoy calculation not to get ¥1 coin at a cash register. To get this enjoyment, we designed "iCard" which expresses the number or operators, and have developed the two following different types of iPad applications by using it: (1) to calculate "the multiplication table", (2) to make multiplication and arithmetic mixing calculation. In both types, learners manipulate by moving or dragging "iCard". Furthermore, we have constructed the database server which collects the learning record from the above iPad applications and extracts useful information for the next learning.

研究分野：科学教育

キーワード：iPadアプリ iCard 九九 掛け算 四則混合計算 学習ソフト データベース 楽しい

### 1. 研究開始当初の背景

数学者 P. フランクル氏は、「日本人はみんな数学者みたいだ。」と書き出した後、「また、日本では、九九などの簡単な計算ならだれもができるという事実にも感心した」と述べている。さらに、『一』という名前、『十』という名前』の節では、日本人でも知らない数についての驚くようなことを教えてくれ、「日本人は昔から数字に関心をもち、また数字で遊んできました。」と結んでいる。

他方、現在では、児童・生徒の基礎学力低下が問題となり、計算能力の低下は数学・理科離れにもつながっているとされている。小学校では、基礎的な計算能力向上のために、「100マス計算」や穴埋め問題等を利用した計算練習法が実践されている。しかし、いずれの計算練習も日本人が昔から数字で遊んできた伝統を受け継いでいるとは言い難い。

学校現場に限らず、日常生活でも身の周りの至る所に数字が溢れている。例えば、自動車の4桁のナンバープレートである。ナンバープレート「20-01」を見て、多くの人は西暦2001年を連想するであろう。「11-23」を見ると、11月23日、勤労感謝の日を連想するかもしれない。あるいは、その車の持ち主の誕生日が勤労感謝の日であると想像することもできる。「12-48」を見ると、等比数列と理解したり、「3-14」では円周率  $\pi$  と連想したりする程になれば、P. フランクル氏が語る「日本人は昔から数字に関心をもち、また数字で遊んで」きたという伝統を受け継ぐことができる。

本研究は、Equal Card (イコールカード) を開発した五十嵐猛氏から、このカードゲームをパソコン上で実現する依頼を受けたことがきっかけでスタートした(2004年)。

当初、Microsoft VB.NET を用いて開発した「イコールカード」ソフトの画面を図1に示す。さらに翌年(2005年)には、卒業研究で取り上げ、Microsoft Visual Studio C#を用いたタブレットからの手書き文字入力ができる「フリーナンバー」(図2)を開発した。



図1 「イコールカード」

図1と図2で示す2つのソフトで用いたルールの特徴は、提示されたカードの数字列(0から9)と加減乗除の4つの演算子を並び替えて、左辺と右辺の演算結果が等しくなるようにすることである。



図2 「フリーナンバー」

この点は、「100マス計算」等の従来の練習問題が与えられた数字と演算との結果が得られるように、ひたすら計算問題を反復する方法と異なる。なお、最近タイム競争だけを目的とし、計算力向上とはならない方法で「100マス計算」に子どもが取り組んでいるとの報告もある。

それに対し、「イコールカード」をヒントに開発した2種類のソフトでは、数字と演算子の組合せにより、正解と呼ばれるものが、1つではなく複数(n通り)存在する。

実際、このタイプのソフトを学生あるいは教員に試行したところ、カードで示された数字と演算子の並び替えを試行錯誤しながら解答に至る思考のプロセスに重きが置かれていることが分かった。カードを操作することを通じて、思考のプロセスを堪能(楽しむことが)でき、延いては数字が知識に置き換わることで、知識を動員して問題を解決できる思考のプロセスを自ら発見できるようになることも期待される。

他方、これまでに開発した上記の学習ソフトでは、数字や演算子が書かれたカードの移動はパソコンに繋がるマウスの操作で行っているが、思考過程をより直接反映できる上でも、指によるドラッグ操作でカードが動かせるデジタルデバイスとしてタブレット端末で動作するソフトの開発が望まれる。

従って、本研究では、「数字で遊ぶ」ツールを開発し、それを通して「数学を愛する」方法の開発を目指すことにした。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、図3に示すiCardを用いてiPad、iPad mini等のタブレット端末で動作する次の2種類のソフト(iOSアプリ)の開発及び利用者・教師を支援するデータベースサーバーを構築することである。次に、目的達成のための具体的な内容を示す。

- (1) 「四則混合演算」を習得するための“iCard”ソフトを開発する。
- (2) かけ算学習ソフト“iCard(Q\_Q)”を開発する。
- (3) 利用者の学習履歴などの情報を蓄積・共有するためのデータベースサーバーを構築する。

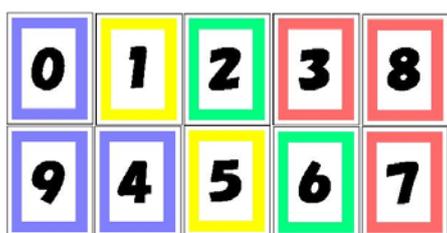


図3 開発するソフトで利用する iCard

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、表1に示す通り年度別研究課題を設定した。

表1 年度別研究課題

年 度	主な研究課題
平成 23 年度	・かけ算学習ソフト“iCard (Q_Q)”の設計及びプロトタイプ版の開発
平成 24 年度	・「四則混合演算」のための“iCard”ソフトの設計と開発
平成 25・26 年度	・かけ算学習ソフト“iCard (Q_Q)”の開発 ・DB サーバーの構築

ICT を利用して、数字を通して楽しく勉強できる学習環境は、本研究を開始する前年に発売された Apple 社製 iPad 等のタブレット端末で動作するアプリケーションソフト (iPad アプリあるいは iOS アプリと呼ばれる。) が、当初予定していたパソコンより適切であると判断した。平成 23 年度は、まず、利用者がいつでもどこでも学習できる iPad アプリとして開発することとした。

その iPad 端末で楽しみながら勉強するための具体的な方法を検討し、学習者が好感を持つ数字カードとして図3で示した“iCard”を利用することや、表2に示す様な「かけ算」でのユーザーインターフェース等を含めた基本設計を行った。

表2 楽しみながら学べる「かけ算」操作

操 作	具体的な方法
方式 A	出題された「6549」の4つの iCard から「9」を指でタップしたまま「6」と「5」の間まで移動し指を離すと、「5」と「4」が自動的に右に移動し、「6954」と並び変わる。次に「答え合わせ」ボタンをタップすると正誤が判定され、次の問題に進む。
方式 B	出題された「9281」の iCard の下に、カードと同じサイズの4つの白い枠を用意する。この枠に iCard を1枚ずつタップして移動し、「2918」となる様に配置した後、ボタンをタップすると正誤が判定され、次の問題に進む。

次に、「かけ算」問題とその解答に対しては、正誤の結果と解答までの時間、正解率等の学習履歴情報を残すことにした。さらに、利用者自身が iPad で履歴を見るだけでなく、

別の学習者や教師が共有データとして閲覧できるようにするため、別に用意したサーバー用パソコン (PC) に学習記録として転送することとし、協働学習的な要素を取り入れることとした。そのため、iPad とサーバーPC間の通信プロトコルを確認し、POST メソッドによる HTTP 通信 (同期方式) で実現できることを確認した。

他方、かけ算九九の問題を出題する時の難易度について検討した結果、九九の何段を解くかだけでなく、出題された時の4つの数字の並びを正しい九九の数字の並びに替える時の回数にも依存すると考えた。例えば、正しい九九の並びが「2918」(にくじゅうはち)の時に、出題された時の並び方が「2198」と「8219」であったとすると、Hamming の長さを使えば、それぞれ「長さ2」と「長さ3」と表すことができる。そこで、並び替えの難しさを測るために、Hamming の長さを用いることにした。そのために、正しい九九の並びを Hamming の長さに応じた4つの数字の並び方を生成するアルゴリズムを検討した。

平成 24 年度は「四則混合演算」の習得を目指した iPad 等でのアプリの開発のための研究を行った。その理由は、平成 19 年度から実施されている「全国的な学力調査」結果から『小学校第6学年算数A』で出題されている四則混合計算の正答率が低いことが報告されていることや、「小学生の計算力実態調査 2007」(ベネッセ教育総合研究所)の「意識調査の結果」に「4年生以降で計算力が低い子どもの算数苦手意識が高まる」ことや「算数が好きでない子は、計算ができてうれしかった経験が少ない」ことが分かったからである。

「四則混合計算」の優先順位を学習するために用意した出題形式を表3に示す。

表3 優先順位を学習するための出題形式

出題形式	説 明
タイプ A	加減乗除の優先順位をタップで確認する。
タイプ B	右辺の値と等しくなるように、表示された数字カードを左辺の計算式の空欄部に移動する。
タイプ C	右辺の値と等しくなるように、表示された四則演算子カードを左辺の計算式の空欄部に移動する。

利用者が「計算ができてうれしかった」に通じる意識を持つには、ICT を教育に活用できるデジタル端末 iPad の特性を生かし、出題された iCard をタップしたり、移動したり操作性を取り入れる設計を行った。

また、学習者の解答の正誤・解答時間の他に iCard の移動も学習履歴として、DB サーバー上に残すための DB 設計を行った。

平成 25 年度から平成 26 年度では、かけ算学習ソフト“iCard(Q\_Q)”の研究を行い、iCard を複数同時にタップした場合のユーザ

ーインターフェースを改良するためのプログラム上の対応方法を調査した。

他方、これまで構築してきたデータベースサーバーには iPad から送信された学習履歴を学習者別に閲覧できる機能に限られていた。しかし、学習者同士が相互に履歴を共有することや教師が指導している学習者の個別あるいは全体の学習状況・傾向を閲覧できる様にする必要がある。そのためにデータベースサーバーのテーブル等の設計を行った。さらに、このデータベースサーバーから教師が学習者に応じた九九の問題を出題できるようにする HTTP 通信のプログラムを作成した。

#### 4. 研究成果

本研究の成果について、開発した3種類のiPadアプリについて述べる。

- ・タブレット端末を利用した“iCard”ソフト（プロトタイプ版）
- ・「四則混合計算」を習得するための“iCard”ソフト
- ・タブレット端末向け学習ソフト“iCard(Q\_Q)”

(1) タブレット端末を利用した“iCard”ソフト（プロトタイプ版）

表2で示した方式Aと方式Bを実装したかけ算九九の問題を学習する時のiPad操作画面を、それぞれ図4と図5に示す。



図4 方式AのiPad画面



図5 方式BのiPad画面

図4に示す方式Aでは、1枚のiCardを移動させる度に、4つの数字の並びが正しい九九の並び方を判断することができる。これに対し、方式B（図5）の画面では、4つの数字カードを全て白い枠の中に移動した時に正しい九九並び方を判断することになる。こうした操作の違いを考えて、今回はより適切なユーザーインターフェースとして操作方式Aを採用することにした。

また、日本語の九九では「6954」は「ろっくごじゅし」、「2918」は「にくじゅうはち」と読んで覚えることから、かけ算記号や等号を使わずに、九九の問題を提示しても、学習者が記号の省略に慣れることが分かった。

と読んで覚えることから、かけ算記号や等号を使わずに、九九の問題を提示しても、学習者が記号の省略に慣れることが分かった。

(2) 「四則混合計算」を習得するための“iCard”ソフト

「四則混合計算」での正しい計算の順序を理解するためのタイプAの問題例「 $9 + 7 \times 5$ 」を図6に示す。

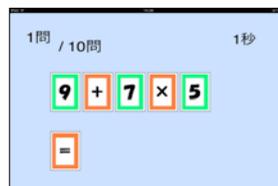


図6 加減乗除の優先順位をタップで確認

学習者が“iCard”で作られた計算式「 $9 + 7 \times 5$ 」から、学習者が「 $\times$ 」タップすると、7と5が近づき35となり、続けて「 $9 + 35$ 」の計算式に変わる（図7）。



図7 「 $\times$ 」をタップした後の計算式

残った演算子「 $+$ 」がタップされると、「 $9 + 35$ 」が自動的に計算される（図8）。

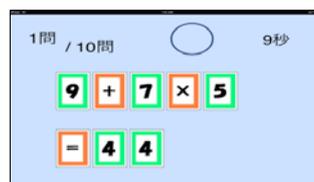


図8 計算完了（正解）

次に、表3で示したタイプB（数字カードを並べる）とタイプC（演算子カードを並べる）の学習をするスタート画面を、図9の左と右にそれぞれ示す。



図9 タイプB（左側）とタイプC（右側）

タイプB（数字カードを並べる）場合は、右辺の数値「56」と一致するように、数字の「2, 6, 9」のiCardを下段の白い枠

に移動する。「確定」をタップして、解答の正誤を確かめられる。そこに至るまでの操作手順を、図 10 と図 11 に示す。



図 10 数字カード「2」の移動

<説明>  
カード「6」を移動し、次に数字「2」をタップし移動しているシーン。



図 11 解答の確認（誤答の時）

<説明>  
残っている数字「9」を空欄部に移動し、「確定」をタップし、解答の結果「x」が表示されたシーン。

続けて、タイプC（演算子カードを並べる）時の操作性を図 12 と図 13 に示す。学習者は、タイプCの解答では、左辺の計算結果が右辺「03」の値となるように、演算子の優先順位考慮し、適当な位置に移動して計算式を組み立てることになる。



図 12 演算子「÷」の移動

<説明>  
演算子「-」を移動した後、「÷」を移動しているシーン。



図 13 解答の確認

<説明>  
「確定」をタップし、解答の正誤が表示されたシーン。

解答した結果は、「成績」として一覧表示されるが、データベースサーバーへも送信される。

### (3) 学習ソフト“iCard(Q\_Q)”

タブレット端末 iPad で開発した学習ソフト“iCard(Q\_Q)”を起動した後のスタート画面と解答画面を図 14 に示す。スタート画面では、学習者の名前を入力し、スタートボタンをタップすると、九九の問題が出題される（図 14）。

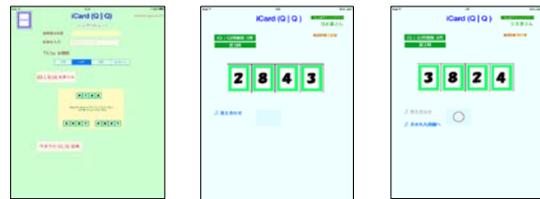


図 14 スタート画面と解答画面

学習者は「2843」と並んだ数字カードを指でドラッグし「3824」に並べ替え、「答え合わせ」ボタンをタップすると、正解「○」が表示される。順次出題される九九の問題を解答して、最後の問題を「9872」と並べ替え解答を確認する（図 15 の左側）。この時、正解「○」の右側に「今回の(Q\_Q)結果確認」ボタンが現れるので、これをタップして、「今回の成績」画面に移動する（図 15 の右側）。

「今回の結果」画面には、「問題番号」、「九九問題」、それを並び替えた「出題並び」、学習者の「解答」とその「正誤判定」、「解答時間」並びに「解答年月日時分秒」の7項目が行毎に表示される。



最後の九九問題

今回の成績

（青：正答、赤：誤答）

図 15 最後の問題と「今回の結果」画面

これまで学習した全ての成績は、スタート画面（図 14）の下方の「今までの(Q\_Q)結果」をタップすると表示される（図 16）。

問題番号	九九問題	出題並び	解答	正誤判定	解答時間	解答年月日時分秒
第1問	9654	5496	5496	×	1.9秒	2015-01-08 16:36:12
第2問	9763	3769	9763	×	3.7秒	2015-01-08 16:36:18
第3問	7749	4977	7749	○	2.2秒	2015-01-08 16:36:21
第4問	8540	4085	8540	○	2.2秒	2015-01-08 16:36:24
第5問	4416	4614	4416	○	2.4秒	2015-01-08 16:36:27
第1問	7963	9736	9673	×	2.4秒	2015-01-08 16:41:51
第2問	5945	4955	5495	×	1.5秒	2015-01-08 16:41:53
第3問	5735	3575	3575	×	0.6秒	2015-01-08 16:41:55
第4問	8540	6450	6450	×	0.6秒	2015-01-08 16:41:56
第5問	6954	4659	4659	×	0.5秒	2015-01-08 16:41:57
第6問	2918	8192	8192	×	0.5秒	2015-01-08 16:41:59
第7問	4532	2834	3824	○	3.0秒	2015-01-08 16:42:03
第8問	4312	4231	3412	○	3.3秒	2015-01-08 16:42:07
第9問	9545	5459	9545	○	4.3秒	2015-01-08 16:42:13
第10問	9872	7298	9872	○	4.0秒	2015-01-08 16:42:17
第1問	8324	8234	3824	○	3.5秒	2015-01-08 16:48:25
第2問	5735	7355	5735	○	1.9秒	2015-01-08 16:48:28
第3問	7214	1274	2714	○	3.0秒	2015-01-08 16:48:33
第4問	5315	1553	5315	○	2.5秒	2015-01-08 16:48:36
第5問	4728	8742	4728	○	6.4秒	2015-01-08 16:48:44

図 16 今までの(Q\_Q)結果

(4) 教師と学習者の PDCA サイクルを支援するデータベースサーバーの構築

図 17 に構築した DB サーバーから閲覧できるページを示す。表示されている項目は、学習者毎の「チャレンジ数（これまでに解いた問題数）」、「正答率」,「回時間（答に要した時間の平均値）」,「正答の平均値」,「誤答の平均時間」である。さらに、各見出しに付加されている矢印ボタン（「↓」,「↑」）をクリックすると、その項目での昇順・降順にソートした一覧結果が表示される。

日付: 2015年03月16日 現在時刻: 00時58分27秒

(Q/Q)練習挑戦者名の選択とスコア表示

(Q/Q) 挑戦登録者のスコア

No	ユーザー名	挑戦者名	学年	登録年月日	選択	チャレンジ数		正答率		回時間		正答の平均値		誤答の平均時間	
						挑戦	成功	挑戦	成功	挑戦	成功	挑戦	成功	挑戦	成功
1	Q001	かけ算くん	5年生	2014-06-29	0	1744	40%	27.22分	25.4分	1.8分					
2	Q002	足し算さん	6年生	2014-06-30	0	1	0%	1.14分	0分	1.1分					
3	Q003	QQA	6年生	2014-11-14	0	34	67.6%	5.36分	5.1分	0.3分					
4	Q004	QOB	3年生	2014-11-09	0	41	17.1%	18.05分	5.3分	12.7分					
5	Q006	かけ算ちゃん	0年生	2014-12-16	0	33	100%	1.93分	99分	0分					
6	Q007	かけ算	0年生	2014-12-16	0	60	58.3%	57.98分	57.7分	0.2分					
7	Q008	たし算くん	0年生	2014-12-16	0	26	23.1%	1.63分	1.3分	0.4分					
8	Q010	qaz	0年生	2014-12-17	0	7	100%	1.93分	99分	0分					
9	Q012	字彙人	0年生	2014-12-18	0	5	80%	10.08分	9.8分	0.3分					
10	Q013	AAA	0年生	2014-12-18	0	14	71.4%	5.62分	4.8分	0.8分					
11	Q014	BBB	0年生	2014-12-19	0	13	92.3%	4.45分	4分	0.4分					
12	Q015	Card2014_12_20	0年生	2014-12-20	0	18	83.3%	5.05分	4.1分	1分					

図 17 ソート・選択機能を持つ学習履歴

図 17 の中央の列にある「選択」をチェックし学習者をセレクトすると、図 18 に示すサイトへ移行し、出題された九九の問題に対する学習者の正解率と誤答率が表示される。

日付: 2015年03月16日 現在時刻: 00時58分30秒

出題した (Q/Q) 練習問題の表示

挑戦 (Q/Q) 問題の正答率・誤答率の一覧

No	ユーザー名	挑戦者名	出題九九		出題回数	正答率		誤答率	選択
			挑戦	成功		挑戦	成功		
1	Q001	かけ算くん	2204	0224	20	30.0%	70.0%	0	
2	Q001	かけ算くん	2204	0242	10	10.0%	90.0%	0	
3	Q001	かけ算くん	2204	0422	15	53.3%	46.7%	0	
4	Q061	かけ算くん 短路城	2204	2024	7	42.9%	57.1%	0	
5	Q001	かけ算くん	2204	2042	2	100.0%	0.0%	0	
6	Q001	かけ算くん	2204	2240	4	50.0%	50.0%	0	
7	Q001	かけ算くん	2204	2402	5	20.0%	80.0%	0	
8	Q030	引算さん	2204	2420	2	100.0%	0.0%	0	
9	Q061	かけ算くん 短路城	2204	4022	9	88.9%	11.1%	0	
10	Q001	かけ算くん	2204	4202	9	88.9%	11.1%	0	
11	Q001	かけ算くん	2204	4220	3	66.7%	33.3%	0	
12	Q001	かけ算くん	2306	0362	2	100.0%	0.0%	0	

図 18 九九の問題毎の正解率・誤答率

図 18 からは学習者の誤答率から苦手とする九九の段が分かるので、セレクトボタンをチェックして、その学習者用の九九の問題を用意することができる。この問題を解くときは、スタート画面（図 14）で九九の出題の選択肢として「(Q/Q)くん」をタップする。

このように、教師（先生）または学習者自身が、今回構築したデータベースサーバーを活用して、適切な九九の問題を作成ことが可能である。タブレット端末 iPad での個別学習の履歴をデータベースサーバーにアップ

ロードし、蓄積されたデータを活用することで、学習者の「PDCA」サイクルを支援する学習環境を構築した（図 19）。

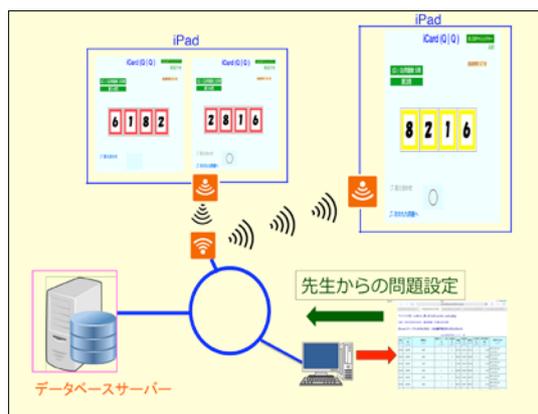


図 19 iPad での学習を支援する DB サーバー

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

① 大岩幸太郎, タブレット端末向け（用）「iCard(Q-Q)」の開発, 情報処理学会 第 77 回全国大会, 査読有, 2015, pp. 583-584, <http://www.gakkai-web.net/gakkai/ipsj/77program/data/pdf/4H-03.html>.

② 大岩幸太郎, 吉田瞬太郎, タブレット端末を利用した「iCard」ソフトの可能性, CIEC 研究会論文誌, 査読有, vol. 4, 2013, pp. 71-74.

〔学会発表〕（計 3 件）

① 大岩幸太郎, 「タブレット端末向け（用）『iCard(Q-Q)』の開発, 情報処理学会 第 77 回全国大会, 2015 年 3 月 18 日, 京都大学 吉田キャンパス（京都府・京都市）.

② 大岩幸太郎, タブレット端末を利用した「iCard」ソフトの可能性, CIEC 春季研究会, 2013 年 3 月 24 日, 大学生協杉並会館地下会議室（東京都・杉並区）.

③ 大岩幸太郎, タブレット端末を利用した「iCard」ソフトの可能性, 情報コミュニケーション学会 第 9 回研究会, 2012 年 6 月 9 日, 長崎大学情報メディア基盤センター（長崎県・長崎市）.

〔その他〕

ホームページ

<[http://](http://prometheus.ed.oita-u.ac.jp/iCardphp/)

[prometheus.ed.oita-u.ac.jp/iCardphp/](http://prometheus.ed.oita-u.ac.jp/iCardphp/)>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

大岩幸太郎 (OOIWA KOUTAROU)

大分大学 教育福祉科学部・非常勤講師

研究者番号: 90223726