

因数分解を対象とした入力デバイスの研究

玉川大学 大学院 野見山瑠奈, 成川康男

Graduate School of Engineering, Tamagawa University,

Runa Nomiyama, Yasuo Narukawa

1 はじめに

文部科学省による GIGA スクール構想による 1 人 1 台端末環境の実現などで、学校教育でコンピュータを利用した教育が爆発的に増えている。それに伴う、コンピュータを利用することの教育効果の測定は大きな課題となって来ている。

海外でも 2010 年ごろからパソコンを利用する教育と従来の紙とペンを利用する教育の効果の差を測定する研究が見られ始めた。

中でも名高いのは Mueller ら [7] によるもので、プリンストン大学の学生 67 名を対象とした 3 つの実験で、ノートを取るためだけに使用されている場合でも、学習を阻害する可能性があることを示した。その理由はパソコンの使用によって処理が浅くなるためであり、教室でのノートパソコンの使用には十分な注意が必要であるとした。

Allen ら [1] は、電子データベースから”大学でのノート作成”と”電子ノート作成”、”手書き”などの用語で検索を行いそこから得られた論文の参考文献から追加情報を得て 144 編の論文を抽出し、そのなかから質的研究を除外し、上述の [7] を含む 24 編の論文を抽出した。抽出された論文は、紙に記録された筆記用具（鉛筆やペン）を用いた手書きによるノートの取り方と、電子機器（多くの場合、ラップトップコンピュータ）を用いたノートの取り方との比較を検討した実証的研究で、テスト、成績など学習についての測定結果が含まれているものであった。これらの論文をメタ分析した結果、ノートパソコンや電子システムを使ってノートを取っている学生よりも、手書きのノートを取っている学生の方が、試験やコースの成績が良かったと報告している。このメタ分析で取り扱っているのは、情報の受け手（学生）が、伝え手（指導者）から送られた情報をどのように聞き、どのように処理するかということを問題としている論文である。

Allen ら [1] が検索したのは英語の論文のみであり、当然の事であるが日本語によって書かれた論文は検討されていない。

森本・中村 [5] は工学部の大学生・大学院生 48 人を被験者にして、定型文の手書きとキーボード入力の時間を計測し、平均入力速度で紙よりキーボード入力の方が早い、キーボードのほうがばらつきが大きいことを報告している。

赤堀 [2] は、ノートテイキングとスマートフォンなどのカメラ機能を用いて写真として記録する方法の 2 つを取り上げて、講義や発表内容に関する知識や理解がどの程度定着しているかという点について実験を行った。その結果、直後における記憶・理解のテストにおいて有意差は見られず、終了 1 か月後でも有意義は見られなかった。ただし、1 か月後のテストは僅かながらノート群のほうがスマホ群より良い成績を示す有意傾向

がみられた。書くという行為が学習に効果的なのか、写真というイメージ情報が学習に効果的なのかという問いに対して、そのどちらも効果的であり、どちらが優位とは言えないという結果であることを示した。

一方、Hamzah [6] はワードプロセッサとタイプライタ、紙(手書き)で、思い浮かんだアイデアを記入する作業と音声及びビデオ情報から重要と思われる情報を記入する作業でメモ書きにおける手書き入力の有効性について検証している。そこでは、知的活動の初期段階の日本語のメモ書き作業においてキーボードよりも手書きのほうが有効であるとしている。

辛島, 西口 [4] は大学生 18 名に対して、専門分野外の放送大学の講義科目を聴講させ、手書き、キーボード入力、タブレットペン入力のいずれかでノートテイキングをさせた。その後の行った試験の結果としていずれも記憶量に相違は見られなかったが、理解度は手書きの方が優れている可能性があるとした。林, 太田 [3] ではオンラインもしくは対面学習時のノートテイキング方法、すなわち、手書き、写メ、キーボード入力、眺めるだけによる学習効果の違いを検討するため、大学生 64 名を被験者として実験を行った。その結果、誤答得点がキーボード入力条件でもっとも高い結果になった。

Allen ら [1] の後に英語で書かれた研究で注目すべき研究では Umejima ら [10] がある。そこでは紙、タブレット、キーボードでメモ書きの記憶に関する実験を大学生を被験者として行い、紙の優位性を確かめ、また MRI を用いて脳の活動部位の違いを確かめている。

これらの先行研究では、いずれも言語を中心とした情報が対象となっており、発信された情報を学生が受けそれを処理し再構成することを扱っている。

数学においては、情報を受けそれを再生する活動だけでなく、長期記憶に既に組み入れられている知識を組み合わせることで問題解決すること、すなわちすでに身につけている知識・技能を活用して与えられた問題を解決していく活動のツールとして紙やパソコンが考えられる。

野見山、成川 [9] は高校数学のいくつかの分野を対象にしてキーボードと手書きでの問題解決にかかる時間と正答率を比較検討した。その結果、数学の分野によって時間、正答率の観点でキーボード・手書きの優位性が異なることが示唆された。その中で、因数分解の問題が手書きのほうが有意に時間がかからず、有意に正答率が高いという結果が出た。

この結果は被験者が少なく、問題も限られていたため、多くの被験者で、因数分解のどのような点でこのような違いが起きるのかを調べる必要があるとされている。

そこで本研究では、特に中学高校の因数分解を取り上げ、その問題解決に必要な技能と手順の補助手段としての紙とキーボードの有効性の違いを明確にすることを目的とした。

2 実験

2.1 実験内容

被験者

玉川大学工学部で数学の教職課程を受講している学生69名を被験者とした。全員2年生以上で、大学1年レベルの基本的な解析学と線形代数を履修し単位を取得済みである。また、Wordなどの基本的なキーボード操作を必要とする初年次教育の単位も取得済みで、キーボードを利用するパソコンの操作についてはある一定以上のスキルを持っている。

問題

問題を[8]を中心に問題は中学・高校の教科書程度の因数分解であるが、[8]で分類された難易度に応じて問題を以下のような3つのタイプに分類した。

- タイプⅠ $x^2 + (a+b)x + ab = (x+a)(x+b)$: 中学の範囲

中学校3年生で必ず学習する問題で、 x の1次の項の係数を整数 $a+b$ 、定数項を整数 ab とし、整数の組 (a, b) を定める問題ある。

例えば $x^2 - 16x - 36$ のように、定数項 -36 から $ab = -36$ となる整数の組 (a, b) の候補を想起し $a + b = -16$ となることからその組を一意に絞るものである。

- タイプⅡ $acx^2 + (ad+bc)x + bd = (ax+b)(cx+d)$: たすき掛け

高校1年生で必修で学ぶ数学Ⅰの基本的問題で、 x の2次の項の係数を整数 ac 、定数項を整数 bd とし、 x の1次の項の係数を整数 $ad+bc$ とし、整数の組 $(a, b), (c, d)$ を定める問題である。

例えば $3x^2+x-10$ のように、2次の項の係数3、定数項 -10 から $ac = 3, bd = -10$ となる整数の組 $(a, c), (b, d)$ の候補を想起し $ad + bc = 1$ となることからその組を一意に絞るものである。

- タイプⅢ $adx^2 + (af+bd)xy + bfy^2 + (ag+cd)x + (bg+cf)y + cg = (ax+by+c)(dx+fy+g)$: 文字たすき掛け

高校1年生の数学Ⅰで扱われるやや程度の高い問題で、1つの文字に着目して、タイプⅡの作業を行うものまたは工夫の必要のあるものである。

例えば $x^2 + 2xy + y^2 - 4x - 4y + 3$ のように、 x について着目して降べきの順に並べ替えるか、 $x^2 + 2xy + y^2 = (x+y)^2$ を利用するものである。

問題はタイプⅠから10問、タイプⅡから10問、タイプⅢから4問が選ばれ、それぞれのタイプから、難易度が同じになるようにタイプⅠ5問、タイプⅡ5問、タイプⅢ2問からなる問題のセットA,Bの2種類が作成された。

問題用紙はそれぞれに紙とWORDの物を作成した。すなわち(A, 紙), (A, Word), (B, 紙), (B, Word)の4種類の問題があることになる。

実施方法

被験者はランダムに2つのグループ a,b に分けられ、グループ a には (A, 紙) ,(B, Word)、グループ b には (A, Word),(B, 紙) が割り当てられた。パソコンは被験者所有のものを使用した。解答に際しては特に時間制限は設けなかった。

解答の仕方は、紙では、A4 の紙に左側に問題だけを、右側に解答欄を作り、紙に答えだけを記入させた。

キーボードでは、左側に問題を、各問題の右側に解答欄を作り、空白と解答欄にキーボード入力することとした。入力は半角ローマ字でかな漢字変換などは行わないものとした。

なお、紙もキーボードも空白の部分に途中式を書いてまたは入力しても良いこととし、書いても書かなくても良いが、書いた場合は残すように指示した。

また、解答に要した時間をそれぞれ記入させた。

3 実験結果

提出された答案の採点は解答欄に書かれたものをすべて手採点で行い判別しにくいものなどは複数で協議をして判断した。その際、因数分解ではなく2次方程式の解を答えたものがあつたが、それは外れ値として除外した。

問題ごとの平均点と解答に要した時間は下の表になった。

表 1: 点数

	紙	キーボード
A	10.68	9.42
B	9.90	9.45

表 2: 時間

	紙	キーボード
A	540.13	667.78
B	533.25	750.53

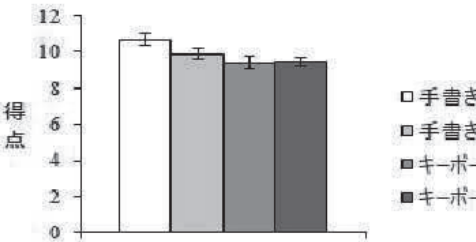


図 1: 点数

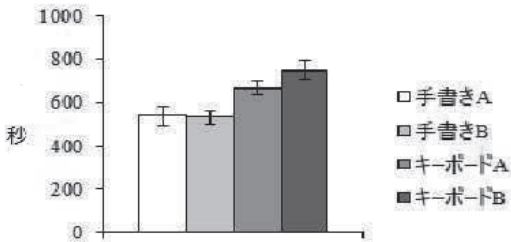


図 2: 時間

これより問題 AB の難易度はほぼ同一であると考えられる。

次に、紙とパソコンの問題区分 I,II,III それぞれの正答率と解答時間は下のようになった。なお、カッコ内は標準偏差である。

表 3: 平均正答率 (%)

	紙	キーボード入力
I (中学)	96.48(0.42)	93.82(0.53)
II (たすき掛け)	82.94(0.97)	70.30(1.15)
III (文字たすき掛け)	68.40(0.83)	56.60(0.75)
合計	86.15(1.68)	77.82(1.71)

表 4: 平均解答時間 (秒)

	紙	キーボード入力
I (中学)	72.21(36.08)	131.54(58.59)
II (たすき掛け)	222.71(106.73)	330.91(132.27)
III (文字たすき掛け)	208.27(119.58)	261.17(142.27)
合計	546.71(211.70)	716.94(220.61)

I (中学) の正答数に対して、1 要因分散分析を行った結果、問題と方法が有意にならなかった ($F(3,133) = 1.309, p=0.274$)。

II (たすき掛け) の正答数に対して、1 要因分散分析を行った結果、問題と方法が有意となった ($F(3,132) = 4.143, p=0.008$)。多重比較 (修正 Shaffer 法) の結果、A の紙と B の紙では有意な差は見られなかった ($t(132)=0.880, p=0.380$, 調整 p 値= $n.s$)。A のキーボード入力 ($M = 3.645, SD = 0.184$) と B のキーボード入力 ($M = 3.486, SD = 0.168$) では有意な差が見られなかった ($t(132)=0.637, p=0.525$, 調整 p 値= $n.s$)。A のキーボード入力は A の紙 ($M=3.250, SD = 0.170$) より調整値では有意とは言えないが、($t(132)=2.141, p=0.017$ 調整 p 値= $n.s$) p 値は 5% を下回り、得点は低くなっている。。B のキーボード入力も B の紙 ($M = 4.031, SD = 0.181$) より調整値では有意とは言えないが ($t(132)=2.207, p=0.029$, 調整 p 値= $n.s$) p 値は 5% を下回り、得点は低くなっている。。

I (中学) の解答時間に対して、1 要因分散分析を行った結果、問題と方法が有意となった ($F(3,133) = 26.280, p=0.000$)。多重比較 (修正 Shaffer 法) の結果、A の紙と B の紙では有意な差は見られなかった ($t(133)=1.586, n.s$)。A のキーボード入力 ($M = 161.719, SD = 8.551$) と B のキーボード入力 ($M = 110.973, SD = 7.952$) では有意な差が見られた ($t(133)=4.346, p=0.000$)。A のキーボード入力が A の紙 ($M = 80.639, SD = 8.062$) より有意に時間がかかった ($t(133)=-6.899, p=0.000$)。B のキーボード入力が B の紙 ($M = 62.000, SD = 8.551$) より有意に時間がかかった ($t(133)=-4.194, p=0.000$) といえることができる。

II (たすき掛け) の解答時間に対して、1 要因分散分析を行った結果、問題と方法が有意となった ($F(3,133) = 9.535, p=0.000$)。多重比較 (修正 Shaffer 法) の結果、A の紙と B の紙では有意な差は見られなかった ($t(133)=1.586, n.s$)。A のキーボード入力と B のキーボード入力では有意な差が見られなかった ($t(133)=-0.239, n.s$)。A のキーボード入力

($M = 327.094$, $S D = 21.252$) が A の紙 ($M = 210.000$, $S D = 20.037$) より有意に時間がかかった ($t(133) = -4.009, p = 0.000$)。B のキーボード入力 ($M = 334.027$, $S D = 19.794$) が B の紙 ($M = 237.000$, $S D = 21.252$) より有意に時間がかかった ($t(133) = -3.343, p = 0.003$) といえる。

次に各問題の間違い方に着目をした。表 2 に外れ値を除いた問題 1 の誤答率を、表 3 に外れ値を除いた問題 2 の誤答率をまとめた。(1) から (5) が中学範囲、(6) から (10) がたすき掛け、(11) から (12) が文字たすき掛けである。また、キーボード入力はパソコンでワードを使用したキーボード入力のことを指す。

表 5: 問題 A の各問題の誤答率				表 6: 問題 B の各問題の誤答率			
	問題番号	紙	キーボード入力		問題番号	紙	キーボード入力
I	(1)	11.1	25.0	I	(1)	0	8.1
	(2)	0	3.1		(2)	0	8.1
	(3)	0	3.1		(3)	3.1	2.7
	(4)	0	0		(4)	3.1	0
	(5)	0	3.1		(5)	18.8	8.1
II	(6)	5.6	18.8	II	(6)	12.5	18.9
	(7)	16.7	28.1		(7)	3.1	8.1
	(8)	8.3	25.0		(8)	34.4	54.1
	(9)	36.1	40.6		(9)	37.5	54.1
	(10)	8.3	34.4		(10)	9.4	16.2
III	(11)	27.8	43.8	III	(11)	34.4	37.8
	(12)	19.4	37.5		(12)	46.9	56.8

この表で見るとわかるように、紙で殆ど無い初歩的な問題（タイプ I）での誤りがキーボード入力では発生していることがわかる。また、処理が若干複雑になる問題（タイプ II）でもキーボード入力の誤答率が高くなっている。

各問題の解答類型を全国学力・学習状況調査報告書 [11] の形式でまとめて分析した。その結果、符号間違いと文字の付け忘れが紙とキーボード入力どちらも最も多かった。

下書きに書いてある途中式を見るとたすき掛けは係数のみで計算している事が多く、それが原因と考えられる。また、18 や 24 など掛け算の形が多ければ多いほど紙とキーボード入力問わず間違いが多くなる傾向がある。

4 考察と今後の課題

今回は因数分解を題材にして、紙による紙とキーボードによる数学のアウトプットの違いを調べた。その結果、[7, 1] と同様に紙の優位性の一端を見ることができた。誤答や下書きを分析することで、その原因の一つは [1] も指摘しているように、キーボード入力は紙よりも注意力が欠けると考えられることであろう。

もう一つの原因は、[10] が指摘しているように、脳の活動における位置情報に関する

紙の優位性であろう。キーボード入力では、数字の入力は容易であってもたすき掛けの試行錯誤を記入するのはスムーズにできないと考えられる。

タイプIIの問題の標準的な解法である、たすき掛けの手法を取るとき、数字を上下、斜めを書く必要があるが、キーボードでは数字を斜めに書けなかったり、すぐに上と下の数字を入れ替えられなかったりするため、入力による負荷が余計にかかり、キーボード入力では時間がかかると考えられる。先ほど述べた、たすき掛けの組み合わせの試行錯誤がスムーズにできないというのもあって、パソコンのキーボード入力では途中式を書いている人が少なかった。

このことより組み合わせを頭の中だけで考えている人が多くいると考えられる。この考察と解答類型の結果から頭の中で考えることによって符号の間違いや文字の付け忘れなどが起きていると考えられる。これらのことは、作業記憶（ワーキングメモリー）の問題であるように思われる。実際、負荷の小さな中学の問題（タイプI）では有意な差はなかったが、負荷が大きくなる高校の問題だと差は顕著になっている。どの程度の負荷であれば、有意に差が生じないのか、その境界を見極めることができれば、記憶力や計算力とは異なる計測したい数学的な能力を検出できるような、キーボード入力による試験の問題の作成に資することができるであろう。

紙に計算を書いてから解答をキーボードで入力する方法も検討されたが、時間に関しては紙で書く時間に加えて入力する時間がかかり、また、入力ミスが起こる可能性も加わるので時間・正答率ともに紙より悪くなることが明らかなので今回は行わなかった。紙に書いてから入力するためにかかる時間や入力の際に起こるエラーの発生確率も重要な研究課題であることは言うまでもない。

また、最近はiPadなどの直接入力型の電子機器が使われていることも多いのでパソコンのキーボード入力以外の入力方法での比較検討も今後の課題である。

参考文献

- [1] Mike Allen, Luke LeFebvre, Leah LeFebvre, John Bourhis (2020) Is the Pencil Mightier than the Keyboard? A Meta-Analysis Comparing the Method of Notetaking Outcomes, Southern Communication Journal, 85:3, pp143-154, DOI: 10.1080/1041794X.2020.1764613
- [2] 赤堀侃司 (2015) スマートフォンのカメラ機能とノートテイキングの学習効果に関する比較研究, 白鷗大学教育学部論集 9 (1), 53 - 67
- [3] 林美都子, 太田鈴香 (2021) いまだ、ペンはキーボードより強しーノートテイキングの学習効果ー, 2021 年度日本認知科学会第38回大会, 1-48
- [4] 辛島光彦, 西口宏美 (2016) 大学講義における学生のノートテイキングに関する一考察. 人間工学, 52, Supplement, 268-269
- [5] 森本荘平, 中村靖 (2007) 手書き情報入力速度の面から見たタブレット PC の評価. 情報処理学会全国大会講演論文集 69, 4.221-4.222

- [6] Hamzah,M.D.B (2009) 知的活動における手書き入力の有効性に関する定量的研究, 電気通信大学大学 博士（工学）論文
- [7] Muller,P.A., Oppenheimer,D.M.(2014)The Pen Is Mightier Than the Keyboard: Advantages of Longhand Over Laptop Note Taking , Psychological Science 25(6) 1159–1168
- [8] 成川康男 (2014) 因数分解, 昇龍堂出版
- [9] 野見山瑠奈, 成川康男 (2023) 高校数学の入力デバイスに関する予備研究, 教育工学会 2023 年春季全国大会講演論文集,513-514
- [10] Umejima, K., Ibaraki, T., Yamazaki, T. ,Sakai, K. L. (2021) Paper notebooks vs. mobile devices: Brain activation differences during memory retrieval. Front. Behav. Neurosci. 15, 634158, 1-11. DOI: 10.3389/fnbeh.2021.634158
- [11] 文部科学省, 国立教育政策研究所 (2022) 令和 3 年度 全国学力・学習状況調査 報告書 【中学校／数学】