

教育データサイエンスの視点を取り入れた実践的 STEM モデルの開発

－小学校第五学年「振り子の規則性」に焦点化して－

Development of Practical STEM Model Incorporating Educational Data Science Perspective
－ Focusing on Fifth Grade Elementary School “Regularity of the Pendulum” －

山岡 武邦
Takekuni YAMAOKA
滋賀大学大学院教育学研究科

大野 裕己
Yasuki OHNO
滋賀大学大学院教育学研究科

岳野 公人
Kimihiro TAKENO
滋賀大学大学院教育学研究科

青木 高明
Takaaki AOKI
滋賀大学データサイエンス学部

<キーワード> 教育データサイエンス 実践的 STEM モデル 統計学的意味 プログラミング言語「R」

1. はじめに

高度科学技術社会で生活することの恩恵は非常に大きい。ただ、実社会では、東日本大震災や熊本地震、SARS-Cov-2の世界的拡大等、様々な課題が存在している。内閣府(2022)によれば、こうした差し迫った危機への対処のための取組を具体化させるため、AIを重要なコア技術として位置付けている。現行の小学校学習指導要領解説(文部科学省, 2018a)では、現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力を教科横断的に育成する教育の重要性が述べられている。教育現場においては、児童・生徒達が様々な変化に積極的に立ち向かい、他者と協力しながら問題を解決する機会を提供する必要がある。また、中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会(2023)では、STEAM教育、才能教育等の各教科等横断的な学習の推進が謳われ、実社会での問題を探究する活動が、今まで以上に重視されてくると考えられる。

米国におけるSTEM教育の理論的支柱である“Framework for K-12 Science Education”によると、STEM教育には「領域コア概念」「領域横断的概念」「実践」の3つの次元がある(NRC, 2012)。特に、疑問が解決され、新たな疑問が生まれるような断片的な概念を織り交ぜながら、新たな概念を生み出すために探究“Practice”の重要性を強調している。つまり、自己学習を含む継続的学習により、総合性の高い概念的な知識を身につけることができる教育であると考えられる。学習の過程においては、学習者は認知的葛藤を生み出し、生じた疑問を教師や生徒同士とともに解決することで、新たな創造的疑問を生み出すことが可能になる(山岡, 2022a)。日本においても、STEM教育を手掛かりに認知的葛藤を生起させ、高次思考を促進させる等の教授方略を活用しながら、子どもの興味・関心を惹きつけるSTEM領域の授業が数多く提案されている(例えば、

白濱ら, 2016; 沖野ら, 2022)。探究活動の中で議論を深め、子ども達自身が新たな疑問を生じ、次の学習へとつなげる深い学びは大変意義深いものである。一方、これまでは結果に対する根拠や推論等に基づく問題解決に関わる探究に関するメカニズムを解明する研究に焦点化する研究は、管見の限りあまり見られなかったと考え、探究に関わる研究に着手してきた^{注1)}。その中で、データサイエンスの活用について検討していく必要性を感じるとともに、現状として学習者は、データサイエンスに関して、どの程度の理解があるのか等を踏まえた上での教育研究が必要であると考えようになった。ただ、データサイエンスに関わる調査研究を進める中で、例えば、「分散」という科学用語が、教科書によって、不偏分散であったり、標本分散であったりするケースが見られた^{注2)}。また、回帰直線についても、 $y = ax + b$ であったり、 $y = bx + a$ であったりする等のように、使用される科学用語の揺らぎがみられた^{注3)}。もちろん、数学や物理学においても、例えば、微分の記法で、ライプニッツの記法、ラグランジュの記法、オイラーの記法、ニュートンの記法等、使用される分野、文脈等で、使い分けられることがある。これと同じ理由で、著者によって使用する用語の揺らぎがみられることは、珍しいことではない。ただ、用語の揺らぎを確認する度に、教育データサイエンスという用語自体も揺らぎはあるのではないかとこの問題意識を持つようになった。国立教育政策研究所(2022)主催の令和3年度教育研究公開シンポジウムにおける招待講演「教育データサイエンスの可能性とその教育」において、スタンフォード大学大学院教育学研究科教育データサイエンスプログラムディレクターのSanne Smith氏は、教育データサイエンスを、統計学、コンピュータサイエンス、教育理論と教育実践の積集合として説明している。これを基にして、山岡・岳野・大

野 (2023) は、教育データサイエンスの定義を巡り、関連文献 50 冊を対象に調査を行った。その結果、従来の教育研究に加えて、(1) 未来を予測する代表的分析手法である回帰分析等を活用すること、(2) 意志決定の最適化のプロセスとして PPDAC サイクル^{注4)}等を活用することを提案した。その結果、**図1**のような教育データサイエンスのイメージをかくことができる。

ただ、**図1**は、分析対象の著者の見識による内容を参考にしており、教育データサイエンスという用語自体の揺らぎをぬぐい切れないのが現状である。そこで、教育データサイエンスという用語をより理解する目的で、教育カリキュラムを対象に調査することにした。さらに、大学生を対象にアンケート調査を実施し、教育データサイエンスを取り巻く現状把握を行うことにした。これらを踏まえた上で、大学生を対象とした授業実践を行う中で、教育データサイエンスの視点を取り入れた実践的 STEM モデルの開発を行うことにした。研究成果は学校現場で活用可能なものであり、大変意義深い研究になると考えられる。

2. 研究目的

本研究は、教育データサイエンスの視点を取り入れた実践的 STEM モデルの開発を行うものである。具体的には、理論研究やアンケート調査を通じて、実践的 STEM 研修モデルを開発するために必要な教材の特徴を明らかにするための調査研究を行うものとした。それを踏まえた上で、実践的 STEM モデルを構築するための指導法への示唆を導出することを研究目的とした。

3. 研究方法

本研究は、教育データサイエンスを取り巻く現状把握と、その成果を活用した授業実践に基づき、実践的 STEM モデルの開発を試みるものである。具体的には、以下の手続きで遂行される。

3-1 教育データサイエンスを取り巻く現状把握

(1) 理論研究

大学における教育カリキュラムについて、「数理・データサイエンス・AI 教育強化拠点コンソーシアム^{注5)}」が全国的組織として模範カリキュラムを決め、認定制度を作っているため、この認定制度に着目した。

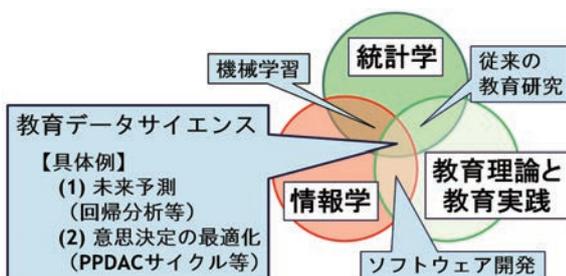


図1 教育データサイエンスのイメージ

(2) 質問紙調査

教育データサイエンスに関わる認識等の現状把握を行うために、2023年5月、私立A大学教育学部に所属する大学生62名を対象に質問紙調査を行った。次の3つの調査課題で構成された質問を、Microsoft Formsを用いて全て自由記述で回答した。なお、問3は、羽山(2007)を参考にした。

問1：データサイエンスと聞いて思い浮かべるものは何ですか。

問2：全ての値を足し、その個数で割れば平均値が求められるのは何故だと思えますか。

問3：例えば「児童公園への来訪者の平均年齢は25.8歳でした。」というまとめ方では、事実を上手く説明できていません。どのようにすればより適切に事実を説明できると思えますか。

(3) 振り子を題材とした授業実践

理科授業中のグラフを作成する場面で、教育データサイエンスの視点を取り入れることを想定し、2023年7月、私立A大学教育学部に所属する初等教育教員志望の大学2年生62名(クラスA=29人、クラスB=33人)を対象に振り子の授業を実施した。いずれのクラスも1コマ(90分)で実施し、4人1グループを目安としてグループ分けを行った。両クラスとも8グループで実験を行った^{注6)}。小学校現場では、振り子に関する授業を約7時間かけて実施する。小学校学習指導要領解説(文部科学省, 2018b)では、「振り子の運動の規則性について、振り子が1往復する時間に着目して、おもりの重さや振り子の長さ等の条件を制御しながら調べる活動」を通して実験するとある。今回の授業は、具体的には、以下の①から③の流れで実施した。

①振り子の1往復する時間(周期)は何によって変わるのか、という点を考える。山岡(2022b)で示したように、おもりの位置が異なる振り子を用意し、厚紙で覆い、見た目を同じようにしたうえで、同時に揺らし、周期の違いに気づかせる活動を行う。

②条件を制御して実験を行う。具体的には、重さを変える、糸の長さ、振れ幅を変える。

③話し合い活動により振り子の周期について検討する。

なお、実験で用いた振り子は、**図2**のように、割りばしにタコ糸を付けたものである。スタンドで固定させる方法もあるが、小学校では、テンポ振り子のように手でもって、振り子を振らせる方法もある。今回の授業では、割りばしを手で持って実験することにした。

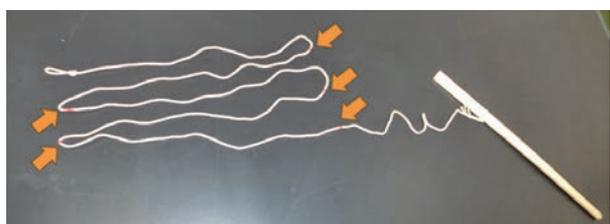


図2 授業で用いた振り子

(4) 実践的 STEM モデルの開発

授業実践の結果を踏まえ、教育データサイエンスの視点を踏まえた実践的 STEM モデルを構築するための指導演法への示唆を導出した。

4. 結果と考察

4-1 教育データサイエンスを取り巻く現状把握

(1) 教育データサイエンスについて

数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム(2022)では、「数理・データサイエンス・AI」をデータ社会における基礎知識として捉え、具体的に備えるべき素養として「データ」を基に事象を適切に捉え、分析・説明できる力を挙げている。この力の習得は、データ思考を涵養することとして位置付けられている。教育目標、カリキュラム実施の基本的考え方については、楽しさや学ぶことの意義を重点的に教えること、現実の課題と適切な活用法を学ぶことをカリキュラムに入れること等が謳われている。社会的文脈を重視する点では、Enger & Yager (1998) が開発した初等・中等教育段階における科学教師の資質・能力を高めるための現職教師教育プログラムの中で示される「学習意欲“Conation”」を基に、「教科内容“Content”」を学び、「社会的文脈“Context”」を統合させるという STS アプローチの考え方に似ている。なぜ、数理・データサイエンス・AI を学ぶのかということを理解し、教科内容が社会的文脈と絡んでいることを理解し、学習意欲をより向上させることは大変意義深いと考えられる。

また、数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム(2022)は、モデルカリキュラムの構成を導入、基礎、心得、選択に分類し、学修項目を体系的に示している。モデルカリキュラムを参考にして、小学校第五学年「振り子の規則性」の指導中で見られるグラフを作成する場面に焦点化し、モデルカリキュラムの構成について検討した結果を表1のようにまとめた。

(2) 質問紙調査

教育データサイエンスに関わる認識等の現状把握を行

表1 モデルカリキュラム「振り子の規則性」

モデルカリキュラム	考えられる具体的指導
導入 社会におけるデータ・AI 利活用	二重振り子のアイデアが、食洗器に応用される等、日常生活の中の振り子について検討する。
基礎 データリテラシー	実験データを読む、説明する、扱う。
心得 データ・AI 利活用における留意事項	データ倫理について検討する。
選択 オプション	プログラミング言語「R」の基礎を学び、グラフを作成する。

うための質問紙調査の結果について、問1のデータベースに収められた記述内容の全てを、意味の単位毎に分類し、キー概念を抽出した。例えば、具体的な回答例として、「あまり詳しくは分からないですが、高度なデータ分析やAI開発をすることだと思う。(男子)」の場合、「分からない」「データ分析」「AI」「数学」の4語を抽出した。その結果を、表2にまとめた。

男女別に、 χ^2 検定を行ったところ有意な違いがみられた($\chi^2 = 11.125$, $df = 4$, $p < .05$, $V = .34$)。残差分析の結果、男子の「科学」かつ「分からない」が有意に少なく、女子の「科学」かつ「分からない」が有意に多いことが分かった。データサイエンスと聞いて思い浮かぶことには性差があることが分かった。

また、問2は、「代表値だから(47.1%)」「データを全部足して個数で割るのが平均だから(31.4%)」という回答がみられた。ただ、これは「計算の結果」や「計算の仕方」の説明であり、「何故この計算をするのか。」という説明はできていない。実際は、平均とは、誤差を最小にする真の値のことである、と説明することができる^{注7)}。今回の結果から、学校現場で多く用いている平均という科学用語の本当の意味が理解できたうえで用いている状況ではないことが推察される。そこで、今後、教育データサイエンスの視点で教材開発を行う際は、使用する科学用語について、本質を整理していく必要があると思われる^{注8)}。

問3は、結果だけでなく、生のデータを見ることも大事という点に気が付くかという設問である。生のデータとは、その瞬間を切り取ったものであり、平均値に依存すると、事実とは違うことも起こりえるということが理解できる^{注9)}。例えば、具体的な回答例として、「年齢の幅が広く、若者とお年寄りしか利用者がおらず、真ん中の年齢の人数が誰もいないので、その平均年齢では児童公園の利用者という説明が出来ない。」というように、平均だけでは説明できないことの記述が多くみられた。この問いは、データやグラフに惑わされてはいけないうまい例だと思うので、そのようにした扱い、中央値等を用いて、本当の事実を説明するような工夫を行う必要がある。

4-2 STEM の実践について

(1) 振り子を題材とした授業実践

学校現場でデータをとる場面を想定し、小学校第五学年「振り子の規則性」に焦点化した授業を行った。対象

表2 問1の結果

抽出された用語	男子	女子
データ分析	13	7
科学	8	12
数学・統計学	18	6
分からない	5	9
AI・プログラミング・未来予測	15	5

は、初等教育教員志望の大学生である。図3は授業中の様子である。

実験結果は、図4、図5のようになる。図4は、データを直線で結んだ例で、図5は、データを折れ線で結んだ例となっている。いずれも周期Tと振り子の長さLをまとめたものである。ただ、周期T、振り子の長さL、重力加速度g、円周率πとしたとき、周期は次の式で表される。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \dots (1) \text{ 式}$$

(1) 式より、周期Tと振り子の長さLの関係は、比例関係ではないので、図4のように、データを直線で結ぶことはできない。一方で、(1) 式は無理関数で表されているので、図5のように、折れ線ではなく、滑らかに結ぶグラフとなるはずである。

実際に、作成されたグラフそのものをみると、滑らかに結ぶグラフは見られなかった。ただ、全グループが、グラフを上手にかけなかったという訳ではない。図6、図7のように周期の二乗T²と振り子の長さLに着目したグループも見られた。実際に、(1) 式の両辺を二乗すると、(2) 式ようになるため、比例関係であることが分かる。

$$T^2 = \frac{4\pi^2 L}{g} \dots (2) \text{ 式} \dots (2) \text{ 式}$$

全16グループのグラフの形を集計したものを表3にまとめた。図6のようなグラフは3例であった。

表3より、周期Tと振り子の長さLの場合で、直線にかくグラフが4例、周期の二乗T²と振り子の長さLの場合で、折れ線にかくグラフが2例みられた。松村ら(2014)は、現在の理科の教科書におけるグラフの書き方の記述は誤解を招く危険性を大いに持っていることを指摘しているように、理科授業でグラフを正確にかくことは、容易なものではない。そこで、授業では、作成されたグラフを基にして、得られたグラフを用いて、直線が良いのか、折れ線が良いのか、それ以外が良いのか等についての話し合い活動を行った。

(2) 教育データサイエンスの視点を踏まえた検討

第一著者は、中学校や高等学校で理科授業の中でグラフを作成する場面を多く経験してきた。グラフの作成については、当時、県教育委員会主催の研修会(県下の理科教員が集う研修会)等でもよく話題になることがあった。その中で、プロットを大きめに書く、という意見が出るがあった。実際の学校現場では、それぞれのプロットを大きめに書いて直線を引かせる等の工夫がみられることがある。確かに、プロットを大きく書き、なんとなく直線を引き、結果的に比例である、という方法で授業を行うことは、それなりにまとまりのある授業になる。ただ、表1に示したモデルカリキュラムの構成における心得「データ・AI活用における留意事項」の「データ倫理」に関わる問題につながる危険性を孕んでいる。グラフの指導場面では、データを説明すると同時



図3 「振り子の規則性」の授業の様子

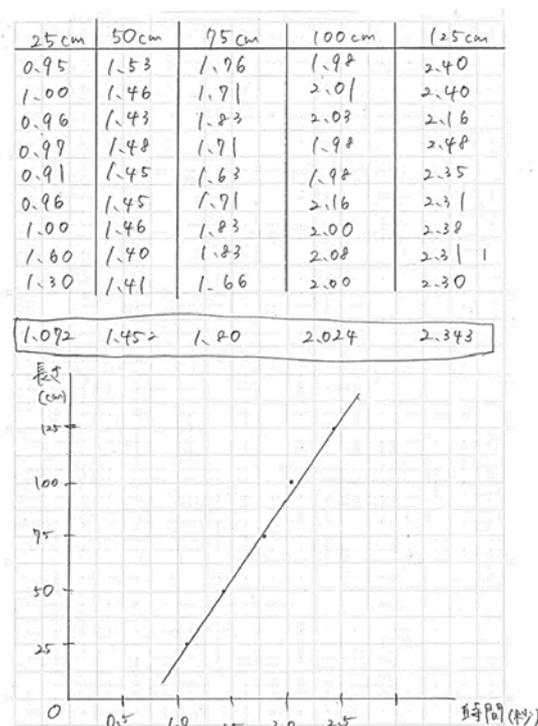


図4 データを直線で結んだ例 (TとLの関係)

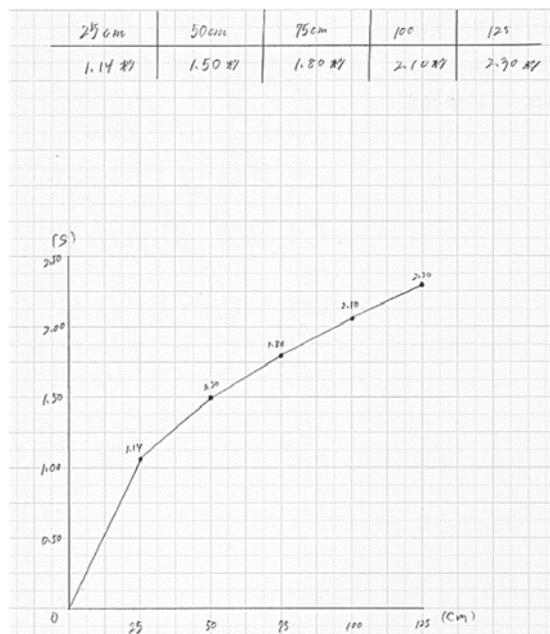


図5 データを折れ線で結んだ例 (TとLの関係)

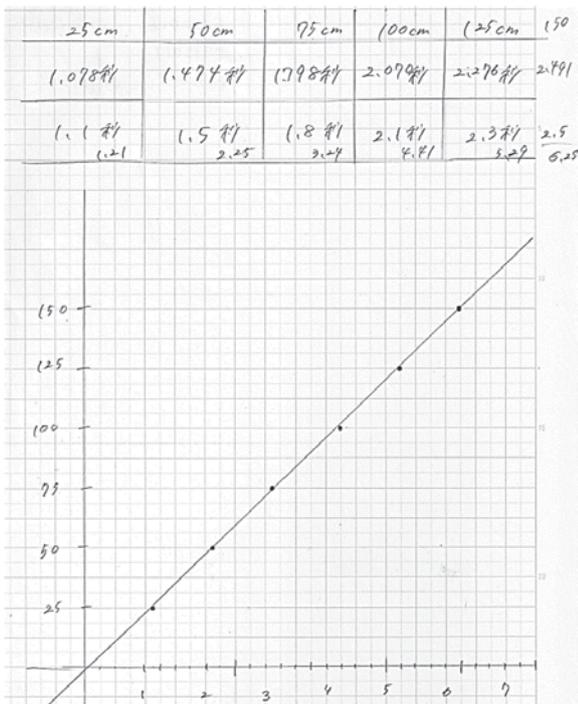


図6 データを直線で結んだ例 (T^2 と L の関係)

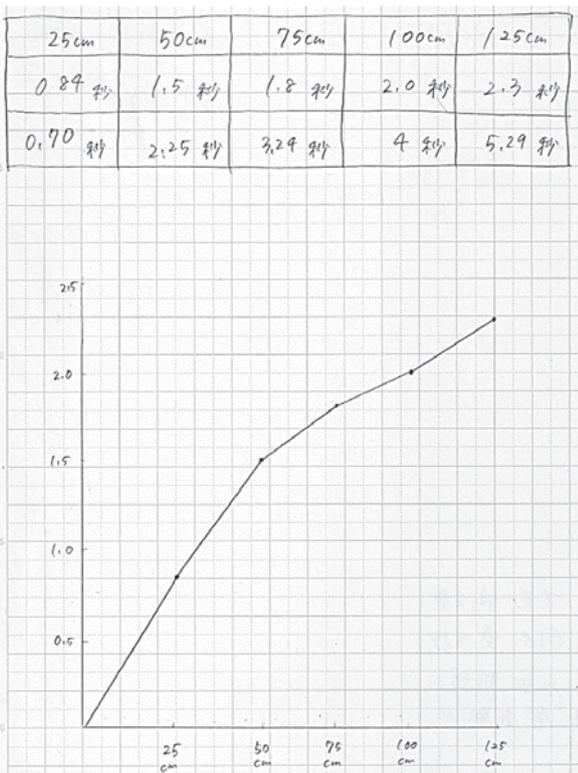


図7 データを折れ線で結んだ例 (T^2 と L の関係)

表3 作成されたグラフの形

着目した物理量	直線	折れ線
周期 T と振り子の長さ L	4	7
周期の二乗 T^2 と振り子の長さ L	3	2

に、データ活用の留意事項も同時に指導していく必要があると考えられる。

今回の授業実践では、得られたグラフを用いて、直線が良いのか、折れ線が良いのか、それ以外が良いのか等についての話し合い活動を行った。これは、モデルカリキュラムの構成における基礎「データリテラシー」の「データを説明する」に関わる問題である。データを説明するとは、直線、折れ線、散布図等、どのグラフで表現するのかという観点があるが、グラフ作成上のマナーも含まれていると考えるべきである。例えば、図6、図7には、原点には原点 O (オー) または、それぞれの軸に 0 (ゼロ) や、縦軸と横軸に単位がかかれていないので、こうした指導も必要である。

比例関係を議論させるなら、周期の二乗 T^2 と振り子の長さ L に着目する必要がある。表3より、今回は5グループが着目することができていた。ただ、何故二乗をとるのかについての議論は、理論と実験データをつなぐ処理が必要である。今回の対象者は、高等学校で専門物理を履修していない。そうした状況においても、実験データを読む、説明する、扱うことを行うために、教育データサイエンスの視点を取り入れた実践的 STEM モデルを開発することの意義が認められる。今回の場合、得られたデータをグラフ化する際、コンピュータを用いてグラフ作成をすることも考えられる。もちろん、手書きのグラフ自体もかくことの意義は疑う余地もなくあると思われるので、コンピュータを用いたグラフのみを作成するのではなく、補完的に使用する等の工夫は必要になってくるものと考えられる。例えば、図5の実験データを、プログラミング言語「R」を用いてグラフを作成すると、図8のようなプログラムになり、実際に作成したグラフは、図9になる。

また、図7について、得られたデータの予測という観点で、コンピュータを用いて、最小二乗法のグラフを書くことも考えられる。例えば、図7のデータで、プログラミング言語「R」によるグラフを作成すると、図10のようなプログラムになり、実際に作成したグラフは、図11になる。

なお、プログラムが分かりづらいとき、ChatGPTに尋ねるという方法もある^{註10)}。例えば、『統計ソフトRを用いて最小二乗法のグラフを書きたい。 $T^2 \leftarrow c(0.00, 0.70, 2.25, 3.24, 4.00, 5.29)$ $L \leftarrow c(0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25)$ 』と書くと、図12のような回答が得られた。

図12のプログラムを用いて、実際にグラフを書いたところ、図11と同じようなグラフをかくことができた。例えば、ChatGPTに『横軸は「振り子の長さ」、縦軸は「周期の二乗」とします。また、グラフにタイトルと凡例 (legend) を追加したい。』と追加質問をすれば、図11に、より近いグラフをかくことができる。このように、プログラミング言語について、ChatGPTと併用していけば、初心者であったとしても敷居が低くなるため、対応可能であると考えられる。ただ、図に示された回帰直線は原点を通過していない。これは物理現象への理解に起因する前提知識である。更に修正していくため

```
> # 実験データ
> t <- c(0.00, 1.14, 1.50, 1.80, 2.10, 2.30)
> l <- c(0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25)
>
> # 理論の計算
> L <- seq(0, 1.25, by = 0.01) # 振り子の長さを0から1.25まで
0.01刻みで作成
> T <- 2 * pi * sqrt(L / 9.8) # 理論的な周期を計算
>
> # グラフのプロット
> plot(l, t, type = "p", pch = 16, col = "blue", xlab =
"振り子の長さ (L)", ylab = "周期 (T)")
> lines(L, T, col = "red")
> legend("topright", legend = c("実験データ", "理論"), col =
c("blue", "red"), lty = 1)
>
> # グラフのタイトル
> title(main = "振り子の長さに対する周期の実験データと理論データ")
```

図 8 理論と実験データに関するプログラム

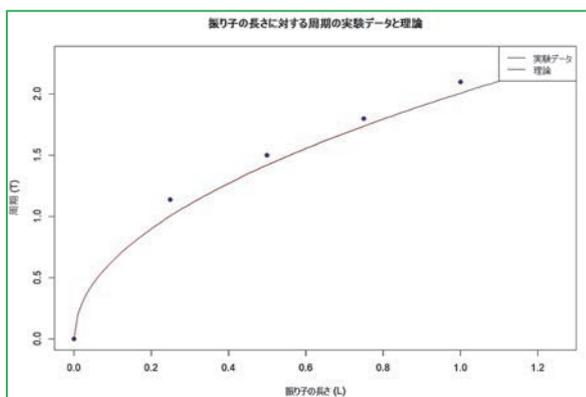


図 9 作成したグラフ (T と L の関係)

```
> # 周期の二乗
> T2 <- c(0.00, 0.70, 2.25, 3.24, 4.00, 5.29)
>
> # 振り子の長さ
> L <- c(0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25)
>
> # プロットを作成 (実験データ)
> plot(L, T2, xlab="", ylab="", type="n", xlim=c(0, max(L)), ylim=
c(0, max(T2)), main="振り子の長さに対する周期の二乗の実験データと理論")
>
> # 実験データを点でプロット
> points(L, T2, pch=20, col="blue")
>
> # 原点 (0,0) を通る回帰直線
> slope <- sum(L * T2) / sum(L^2)
> abline(a=0, b=slope, col="red")
>
> # 凡例を追加
> legend("topright", legend=c("実験データ", "理論"), col=c("blue",
"red"), lty=1)
```

図 10 最小二乗法のプログラム

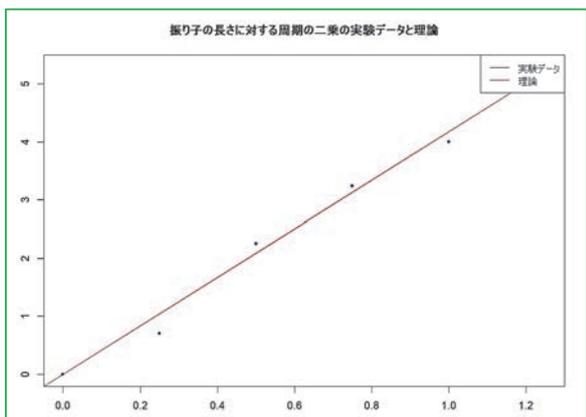


図 11 作成したグラフ (T² と L の関係)

には、統計ツールの使い方だけではなく、教科科目に関する理解が必要であると考えられる。

今回は、授業中に、プログラミング言語を活用したグラフを提示していないが、今後は、この指導法も活用すれば、より説得力が増す話し合い活動ができるのではないかと考えられる。また、話し合い活動の際も ChatGPT を活用することができる。例えば、今回の話し合いのテーマであった直線が良いのか、折れ線が良いのかについての話し合いについて、『振り子の実験をしました。周期の二乗と振り子の長さの関係をグラフに表したいです。折れ線で引くのがいいのでしょうか。』と書くと図 13 のように『振り子の周期の二乗とひもの長さの関係をグラフに表す際、折れ線グラフは通常は適していません。・・・(中略)・・・必要に応じてトレンド線や回帰分析を追加して、関係性をより詳細に調べることもできます。』というように、回帰直線を追加するというアイデアを含めた回答が得られた。

Rを使用して最小二乗法のグラフを描くには、まずデータを用意し、最小二乗法を用いて回帰モデルを適合させる必要があります。提供されたデータは、T2とLの2つのベクトルです。T2を独立変数、Lを従属変数として考え、T2からLへの回帰モデルを作成し、その結果をグラフ化します。

以下は、Rを使用して最小二乗法のグラフを作成する手順です。

```
R
# データを定義
T2 <- c(0.00, 0.70, 2.25, 3.24, 4.00, 5.29)
L <- c(0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25)

# データフレームを作成
data <- data.frame(T2, L)

# 最小二乗法で回帰モデルを適合
model <- lm(L ~ T2, data = data)

# 回帰直線のパラメータを取得
intercept <- coef(model)[1]
slope <- coef(model)[2]

# グラフを描画
plot(T2, L, pch = 19, xlab = "T2", ylab = "L", main = "最
abline(model, col = "red") # 回帰直線を描画
legend("topleft", legend = paste("y =", round(intercept,
# グラフを表示
```

図 12 プログラムに関する ChatGPT の回答

YA 振り子の実験をしました。周期の二乗とひもの長さの関係をグラフに表したいです。折れ線で引くのがいいのでしょうか。

振り子の周期の二乗とひもの長さの関係をグラフに表す際、折れ線グラフは通常は適していません。代わりに、散布図 (スキャタープロット) を使用することをお勧めします。振り子の周期の二乗とひもの長さの実験データを散布図としてプロットすると、各データポイントが独立して表示され、そのままの形でデータの分布が見えます。

折れ線グラフは通常、連続的なデータの変化を示す際に表示され、データポイント間を線で結んで関連性を強調します。一方、周期の二乗とひもの長さの関係を示す場合、これらのデータポイントは実験で得られた離散的な値であり、それぞれのデータポイントを独立して表示することが適切です。

したがって、振り子の周期の二乗とひもの長さの関係をグラフに表す場合、散布図を使用し、各データポイントを独立して表示してください。これにより、データのばらつきや傾向がより明確に見えやすくなります。データポイントが散らばった後、必要に応じてトレンド線や回帰分析を追加して、関係性をより詳細に調べることもできます。

図 13 グラフの書き方に関する ChatGPT の回答

5. まとめ

本研究は、教育データサイエンスの視点を取り入れた実践的 STEM モデルの開発を行うものである。具体的には、理論研究やアンケート調査を通じて、実践的 STEM 研修モデルを開発するために必要な教材の特徴を明らかにするための調査研究を行った。それを踏まえた上で、実践的 STEM モデルを構築するための指導法への示唆を導出した。その結果、(1) 数理・データサイエンス・AI を学ぶ意義や、教科内容が社会的文脈と絡んでいることを理解し、学習意欲をより向上させることの必要性、(2) 教育データサイエンスの視点で教材開発を行う際は、使用する科学用語について、本質を整理していく必要があること、が分かった。

以上を踏まえた上で、実践的 STEM モデルを構築するための指導法への示唆を導出するための実践を行った。グラフの作成については、実際にグラフを手でかき、それをもとに話し合い活動を行うことは大変意義深い。さらに、プログラム言語を用いて、グラフをかく活動も加えると理解が深まると考えられる。

謝辞

本研究は、滋賀大学研究助成事業による 2023 年度研究ユニット助成事業に基づいて実施された。また、本研究の一部は、JSPS 科学研究費助成事業 20K14121 の助成を受けて実施された。

附記

本論文は、下記の発表内容をもとに研究を深め、発表内容に加筆、修正を加えたものである。

山岡武邦, 岳野公人, 大野裕己 (2023), 教育データサイエンスの視点を取り入れた実践的 STEM 研修モデルの開発に向けた調査研究, 日本産業技術教育学会第 66 回全国大会講演要旨集, 13.

註

- 1) 研究成果の一部は、「山岡武邦, 大隅紀和, 梅本仁夫 (2023), STEM 教育を目指す理科 - その考えと実験事例 -, 東洋館出版, 1-156.」にまとめている。
- 2) 例えば、「林拓也 (2018), 社会統計学入門, 放送大学教材, 42-44.」では、分散を、偏差 (平均値からどれほど離れているか) を計算し、その 2 乗を足し合わせ、N-1 で割ったものとして記述している。つまり、不偏分散を前提とした記述がなされている。また、表計算ソフト Microsoft Excel における基本統計量は、「分散」という表記で「不偏分散」を表している。一方、「清水裕士 (2021), 心理学統計法, 放送大学教材, 46-48.」では、分散について、標本分散と不変分散を区別することを述べた上で、とくに断りが無い限り、分散と表記した場合は、標本分散を表す、と述べている。
- 3) 例えば、「藤井良宜 (2019), 統計学, 放送大学教材,

135-138.」では、回帰直線を $y = a x + b$ と記述しているのに対し、「石崎克也, 渡辺美智子 (2018), 身近な統計, 放送大学教材, 228-231.」では、回帰直線を $y = b x + a$ と記述している。

- 4) 例えば、「日本統計学会 (2012), 日本統計学会公式認定統計検定 3 級対応データの分析, 東京図書, 148-151.」によると、ニュージーランドの教育で、戦後日本の品質管理の分野で使われていた PDCA サイクルを応用した PPDAC “Problem, Plan, Data, Analysis, and Conclusion” サイクルという問題解決プロセスが用いられていると述べられている。
- 5) コンソーシアムの概要は、「数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム (2022), コンソーシアム概要, <http://www.mi.u-tokyo.ac.jp/consortium/overview.html>, (最終アクセス 2023 年 11 月 10 日)」に記載されている。文理を問わず全国すべての高等教育機関の学生が、数理・データサイエンス・AI を習得できる教育体制の構築・普及を目的とし、文部科学省より数理及びデータサイエンスに係る教育強化の拠点校として選定された複数の大学がコンソーシアムを形成している。
- 6) 4 人 1 グループとした理由は、振り子を持つ人、時間をはかる人、実験結果を記録する人、全体を見る人、というように実験上での役割を決めるためである。振り子では複数回の実験を行い、その平均をとる過程を行うので、それぞれの役割をローテーションさせながら、全ての人が、全ての役割を経験しながら、実験を行うことができる。
- 7) 平均の証明は、次のようにすることができる。
【証明】真の値をと \bar{x} し、誤差を e とする。誤差が最小になるように、真の値を決めていく。
 $\bar{x} = x_1 + e_1, \bar{x} = x_2 + e_2, \dots, \bar{x} = x_n + e_n$
 $e_1 = \bar{x} - x_1, e_2 = \bar{x} - x_2, \dots, e_n = \bar{x} - x_n$
全体の誤差を最小にするため、両辺を 2 乗する。
 $e_1^2 = (\bar{x} - x_1)^2, e_2^2 = (\bar{x} - x_2)^2, \dots, e_n^2 = (\bar{x} - x_n)^2$
ここで、誤差を全て足す。
 $\sum e_i^2 = \sum \bar{x}^2 - 2 \sum x_i \cdot \bar{x} + \sum x_i^2$
 $\Leftrightarrow \sum e_i^2 = n \cdot \bar{x}^2 - 2 \sum x_i \cdot \bar{x} + \sum x_i^2 \dots \textcircled{1}$
ここで右辺を最小にする真の値 \bar{x} を求める。①式は、 \bar{x} の 2 次関数なので頂点を求めると、
 $-\frac{(-2 \sum x_i)}{2n} = \frac{\sum x_i}{n}$ となる。
 \therefore 平均とは、誤差を最小にする真の値のことである。
- 8) 平均以外にも、中学校、高等学校等の学校現場では、偏差値という用語も普段の会話で多く用いられているが、同様の結果になると推察できる。
- 9) 例えば、午前は赤ちゃんを連れのお母さんが多く、午後は放課後の小学生を連れのお年寄りが多いかもしれない、等の可能性もある。あくまでもデータは、調査段階の瞬間を切り取ったものであることを理解

する必要がある。

- 10) ChatGPT “Generative Pre-trained Transformer”とは、OpenAIが2022年11月に公開した生成AIで、人間のように自然な会話ができるAIチャットサービスである。

引用文献

中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会 (2023), 第11期教育課程部会の議論における主な意見について, Retrieved from https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/mext_00004.html, (最終アクセス2023年11月10日).

Enger S. K. & Yager R. E. (1998), *The Iowa Assessment handbook*, University of Iowa, 1-185.

羽山博 (2007), *マンガで学べる! 統計解析*, ナツメ社, 1-23.

国立教育政策研究所 (2022), 教育データサイエンスセンターの取組, Retrieved from https://www.nier.go.jp/04_kenkyu_annai/div12-data-sci.html, (最終アクセス2023年10月21日).

松村雅文, 寺尾徹, 磯田誠, 高橋尚志, 青木高明, 大浦みゆき, 佐々木信行, 高木由美子, 小森博文, 高橋智香, 松本一範, 篠原渉, 稗田美嘉, 北林雅洋, 笠潤平 (2014), 中学校理科の新教科書の研究: 理科教員養成をめぐる新しい課題の明確化, *香川大学教育学部研究報告第II部 Vol.64 (1)*, 5-25.

文部科学省 (2018a), 小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編, 東洋館出版社, 1-11.

文部科学省 (2018b), 前掲書, 65.

内閣府 (2022), *AI戦略2022*, https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/aistrategy2022_honbun.pdf, (最終アクセス2023年10月21日).

National Research Council of the National Academies. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press, 41-82.

沖野信一, 山岡武邦, 松本伸示 (2021), 質量の科学的概念の構築をめざした教授方略に関する事例的研究, *理科教育学研究* 62 (2), 389-401.

白濱弘幸, 細田宏樹, 岳野公人, 山岡武邦 (2016), 「K-12科学教育のためのフレームワーク」に基づいた結晶構造モデルに関する授業実践, *電気学会論文誌A(基礎・教材・共通部門誌) Vol.136 (10)*, 641-648.

数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム (2022), *数理・データサイエンス・AI (リテラシーレベル) モデルカリキュラム～データ思考の涵養～*, http://www.mi.u-tokyo.ac.jp/consortium/pdf/model_literacy.pdf, (最終アクセス2023年11月

10日).

山岡武邦 (2022a), 話し合い活動 - Think-Pair-Share -, 平田豊誠, 小川博士 (編), *小学校理科を教えるために知っておきたいこと*: 東洋館出版, 221-230.

山岡武邦 (2022b), エネルギー領域で知っておくとよい概念, 前掲書, 58-70.

山岡武邦, 岳野公人, 大野裕己 (2023), 教育データサイエンスの視点を取り入れた実践的STEM研修モデルの開発に向けた調査研究, *日本産業技術教育学会第66回全国大会講演要旨集*, 13.