

第一工科大学教職課程研究紀要  
2024年3月号（通卷9号）

2023年度

第一工科大学教職課程教育研究会

# 目次

## 研究論文

- 教職課程における資質・能力の育成と指導技術の向上を目指した試行  
～情報機器を活用した教材の作成とその効果に関する考察～  
福永 知哉・倉元 賢一・吉村 耕一・・・ 2

- Deep Learning における応用解析の観点からの一考察  
－数値解析手法適用時の問題点とその影響を軽減する方策の検討－  
當金 一郎・・・ 12

## 研究ノート

- Google\_Colabratry を用いた C 言語学習法の提案  
松田 翔太・・・ 27

- 大正期の鹿児島県における欧米の教育思想・教育方法等の紹介  
一池上弘によるドルトン・プランの紹介活動を中心に－  
萩原 和孝・・・ 32

# 教職課程における資質・能力の育成と指導技術の向上を目指した試行 ～情報機器を活用した教材の作成とその効果に関する考察～

第一工科大学 福永知哉・倉元賢一，第一幼児教育短期大学 吉村耕一

## 要旨

本研究では、教科の学習において苦手になる理由、意欲が持てない理由、教員に求めるものに関する調査の分析を行った。その結果をもとに、興味関心を高め、課題意識を持たせるための取り組みとして、ICT 機器を活用し、予習・復習用に動画教材を作成したり、eラーニングプラットフォームを活用したりするなど、指導法を工夫し、基礎的な知識を身に付けさせる取り組みを行った。その結果、教育の基礎的な理論や実践に加え ICT 機器を有効に活用することの効果を示唆された。

キーワード：資質・能力，指導技術，情報活用能力

## 1. はじめに

平成 29 年 11 月の教育職員免許法施行規則の改正により、学校現場で必要とされる知識や技能を養成できるよう、教職課程の内容の充実がなされた。なかでも、教職課程コアカリキュラムは、「全国すべての大学の教職課程で共通的に習得すべき資質能力を示すものとして、各大学が責任をもって教員養成に取り組み教師を育成する仕組みを構築することで教職課程全体の質保証を目指すもの」とされ、教職課程の質保証を目指すものとして位置づけられている。その中でも、「教育の方法及び技術（情報機器及び教材の活用を含む。）」は、「これからの社会を担う子供たちに求められる資質・能力を育成するために必要な、教育の方法、教育の技術、情報機器及び教材の活用に関する基礎的な知識・技能を身に付ける。」[教職課程コアカリキュラムの在り方に関する検討会，2017]とされており、教育の方法、指導技術、情報機器の活用など様々な要素を含むものである。

教職課程の質向上を考える上で、学生を適切にアセスメントすることは、その後の学修方略を考える上でも非常に重要なことである。教職課程のみならず、学生の適切なアセスメントと授業改善は、その後の学修に大きく影響を与えられられる。特に理系の大学においては、数学・物理・英語といった基礎科目の理解は教職科目のみならず、専門科目にも影響を与える非常に大切な教科である。特に、数学は得手不得手の差が非常に大きく、質保証の観点から考えても、基礎的なスキルとして数学を理解することは大きな課題になる。

しかし、教職課程を担当する大学の教員は、学問の専門家であるため、小・中・高のような一斉授業の中での個別指導や、授業外での個に応じた指導に類する対応等と同じような授業を想定して授業することは一般的ではなかったと考えられる。高校卒業後、それまでと同じような授業を期待や想定している学生が一定数いることは予想されるが、実際に行われる授業との齟齬が予想され、その段階でのつまずきがその後の学修へ影響することが懸念

される。このような現状を適切に把握し、それに対して適切に対応する指導技術を検討し実践することは、資質・能力の育成の大きく資するものであると考え。

ところで、教職課程における指導技術については、教職課程コアカリキュラムにおいて、「話法・板書など、授業・保育を行う上での基礎的な技術」「基礎的な学習指導理論を踏まえて、目標・内容、教材・教具、授業・保育展開、学習形態、評価規準等（後略）」とされており、教育する側が学習者の学習を効果的に支援することが目的とされている。[教職課程コアカリキュラムの在り方に関する検討会, 2017]

そこで、本研究では教職課程における資質・能力の育成と指導技術の向上を目指し、生徒や学生の適切なアセスメントやニーズの整理を行い、指導技術として、特に学習者のアセスメントの手法や教材・教具、学習形態の工夫について検討し、その実践のプロセスや結果を教職課程の授業においてフィードバックするためのノウハウを確立することを目的とする。今回は特に大学入学後の初年次教育の数学における学習者のニーズやアセスメントの分析と実践の効果の検討を行った。

## 2. 数学の苦手意識に関する先行研究について

数学の苦手意識に関する先行研究は多岐に渡る。杉元は自己効力感と関連させ、数学が苦手な中学生が無気力に陥り、数学の学習に対して諦めている傾向があると指摘している。そのため、数学が苦手な生徒の改善には無気力の改善も必要であると述べている。具体的には、自己効力感（自分にはこのようなことがここまでできるという考えを持つようになること）を向上させることが重要で、それには適切な目標設定が必要であると指摘している。[杉本祐一, 2012]

犬塚らは、『「数学嫌い」になるのはなぜか』として、「数学嫌い」が「ジェンダーステレオタイプ」に影響を受ける可能性がある」と指摘している。また、「数学への苦手意識」や「正解への喜び」、「正解への不安」などが顕在的な数学嫌いに関連していることを示している。[犬塚美輪, 佐宗駿, 中村海斗, 2019]

また、数学に対する意識に関する研究として、佐々は「数学の学力とは、数学の問題を解けるという知識・理解に関わる学力だけではなく、数学に対する関心・意欲・態度をも含むものである」としており、「中学生と高校生という発達段階の違いにおいては、おもに創造的活動や他者との関わりに関する部分で、意識の差が明らかになった」としている。[佐々祐之, 2000]

これらの先行研究から、数学の苦手意識の理由は多岐に渡るが、目標設定が大切であると言える。高等学校数学に対する苦手意識やそれを嫌いと感じる生徒の割合が多い傾向があると指摘している。その主な原因の一つに数学を学ぶ意欲の低下があるとされている。学習意欲を向上させる取組については、下田や瀬沼などの先行研究があり、学習意欲の向上が基礎学力の定着と学力の向上につながっていることが明らかにされている。[川久保広臣, 2007]

### 3. 調査の方法について

本研究の目的である生徒や学生の適切なアセスメントやニーズの整理を行うため、大学生を対象にアンケート調査を行うこととした。対象は初年次教育の数学を受講している学生とし、「数学が苦手な人がいるとします。この人が苦手な理由は何だと思いますか。自分なりの考えを教えてください。」「数学の先生に求めるものは何ですか」「面白い数学の授業とはどのようなものだと思いますか」「あなたが提案する授業形態を教えてください」の4つの項目で調査することとした。

具体的には D 大学 1 年生で基礎数学受講生 60 名（男性 55 名，女性 5 名）を対象とし，Google forms を使って行った。調査時期は大学に入学して 1 か月経過した 2022 年 5 月で，全員工学部である。

### 4. 数学が苦手な理由についての調査

数学が苦手な理由の調査を行った。その結果をまとめたものを表 1 に示す。さらに，その結果を KH Coder 3(3.Beta.07b)（以下 KH Coder 3）でテキストマイニング分析すると図 1 のようになる。

表 1 数学が苦手な理由

<b>理解の問題</b>
公式や理論，計算過程，数式の意味を理解できない，どの公式を使えばいいのかが分からない，理解しようとしていない，定石をなぞるだけで本質の理解が足りていない，何故それを解いているのかが理解できていない，なぜこの公式を使うかなど根本的な理由がわかってない，何故そのような計算になるのか理解できてないまま放置してしまう，なんでそういう計算になるのか仕組みが分からない，公式に当てはめてからが複雑だ，公式の使い方を理解していない，なぜそういう操作をするのかが分からない。
<b>計算能力の問題</b>
数字が変わると計算できなくなる，計算が得意ではない，計算が苦手，計算が不得意。
<b>学習意欲の問題</b>
やろうとしない，わかろうとしてない，苦手意識を無くそうと頑張って問題を解かない，やる気が起きない。
<b>基礎知識の問題</b>
基礎が身に付いていない，基本的な公式，定理を使いパターン化させて解くこと暗記させようとする，基礎問題がしっかり理解出来てないので応用でつまづく。
<b>感情的な問題</b>
一度躓き，そこから追いつけなくなった，数学を最初からむずかしいものだと決めつけている，一回でも苦手だと思えば，遠ざけてしまう，嫌悪感によるやる前からの拒否，先生嫌いだ，出来なかった物をそのままにしまい，そのまま分からないが続いた，苦手だと思う。

その他

答えが一つしかない，グラフの問題が嫌い，普段の生活で一次関数とか二次関数を使う機会がなく，テスト期間以外に覚えようとする事ができない，公式とかの暗記が多い，問題を解く量が少ない，むずかしいから，おもいこみ，正解にたどりつけないから。

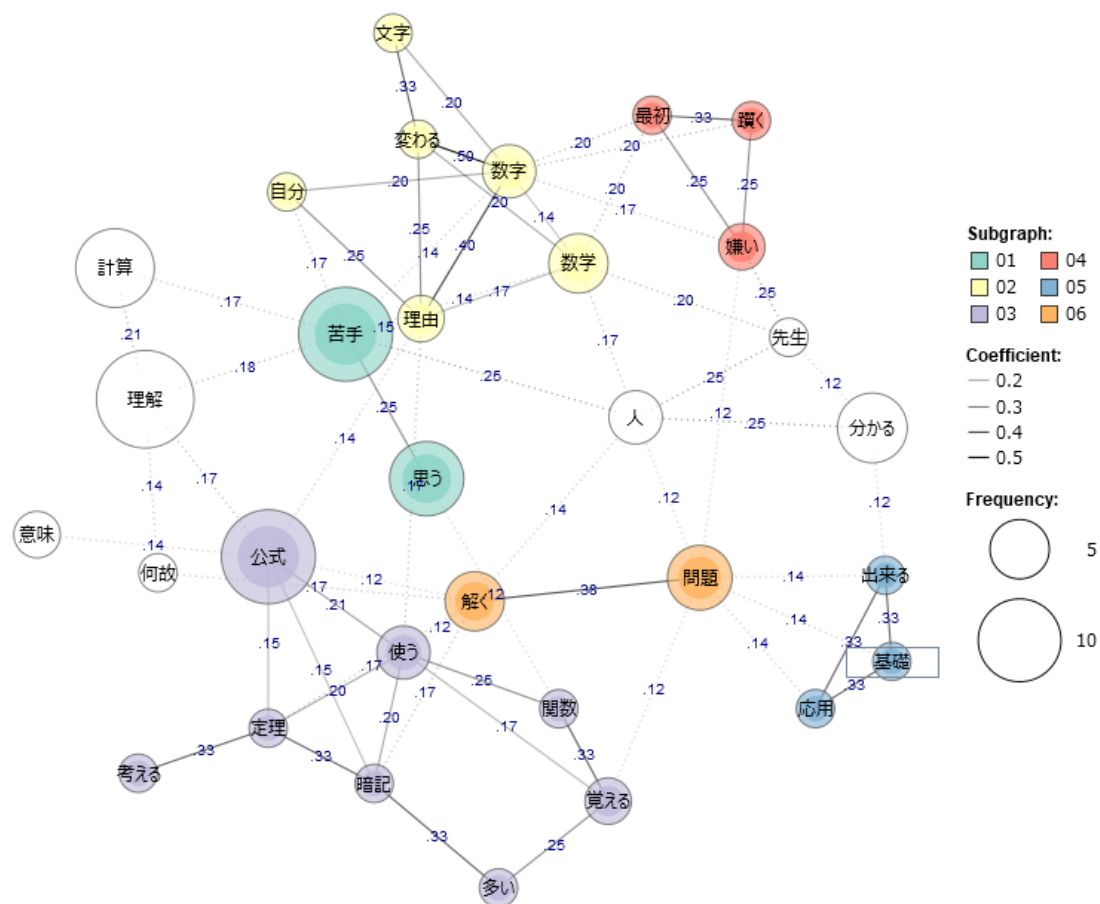


図 1 数学が苦手な理由 (共起ネットワーク)

以上より，数学が苦手になる理由は個々の理解の深さ，計算能力，学習意欲，基礎知識の有無，感情的な要素など，多岐にわたることがわかる。それぞれの学生が自分の苦手な部分を理解し，それを克服するための適切な学習方法を見つけること，すなわち個別最適化された学習が重要であると考えられる。

5. 数学の先生に求めるもの

数学の先生に求めるものについて調査を行った。その結果をまとめたものを表 2 に示す。さらに，その結果を KH Coder 3(3.Beta.07b) (以下 KH Coder 3) でテキストマイニング分析すると図 2 のようになる。

表 2 数学の先生に求めるもの

わかりやすさ
教え方の上手さ, わかりやすさ, 計算の詳しい意味, 一人ひとりの実力に合わせて教え方, 計算過程の分かりやすい説明, 基本をしっかり教えてくれる事, わかりやすい説明, 問題の説明のわかりやすさ, 解き方を詳しく教えてくれる人, ゆっくりでいいので分かりやすく教えてくれる, 定理や公式のわかりやすい説明やなぜここをこうするかを省略しないこと。
面白さと楽しさ
数学をおもしろいと思わせてくれる, 面白さ, 遊び心, 雑談(ためになる話), 数学を楽しく教えて貰えること, ユニークさ。
対応力と優しさ
個人的な質問への優しい対応, どんな基礎的な問題を聞かれても丁寧に答える姿勢, 教える際の丁寧さ, 笑顔, 優しさ, 声の大きさ。
具体例と実用性
状況に適した計算(買い物の会計の計算など)のように具体例を用いた教え方を求めます。
その他
授業時間内にその日の核を伝えること, テスト対策, 黒板を消すのがはやいです, 解答をしやすい, 富, 名声, 力, 教える上手さ, 授業のわかりやすさ, 練習問題を授業中でも解きたい, 何が分からないのか理解すること, 特になし, 知識の多いひと, 公式や定理を理屈を交え学生のイメージに落とし込ませる, ゆるさ, わからない。

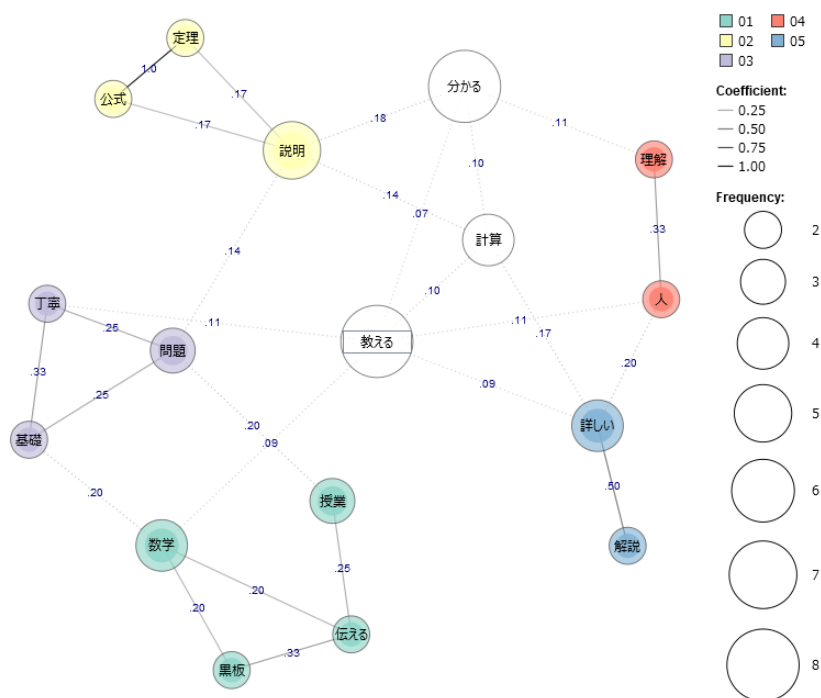


図 2 数学の先生に求めるもの (共起ネットワーク)

以上より、大学生が数学の先生に求めるものは、わかりやすさ、面白さと楽しさ、対応力と優しさ、具体例と実用性などであることがわかった。

## 6. 面白い数学の授業とはどのようなものか

面白い数学の授業について調査を行った。その結果をまとめたものを表3に示す。

表3 面白い数学の授業

対話型の学習
生徒と先生が一体となって授業を進めたり、グループや近くの人と教え合うなどの対話型の学習
問題解決の経験
夢中で問題を解いたり、難しい問題を自分で解ける自信がつくような授業
明確な説明
難しい問題の解説や、計算過程を理解できるような授業
教授法の多様性
問題解決と解説をバランス良く進行していく授業、日常的な例を用いた授業
授業のペースング
生徒が飽きる前に演習に移行するなど、授業の進行速度

この結果を KH Coder 3(3.Beta.07b) (以下 KH Coder 3) でテキストマイニング分析すると図3のようになる。

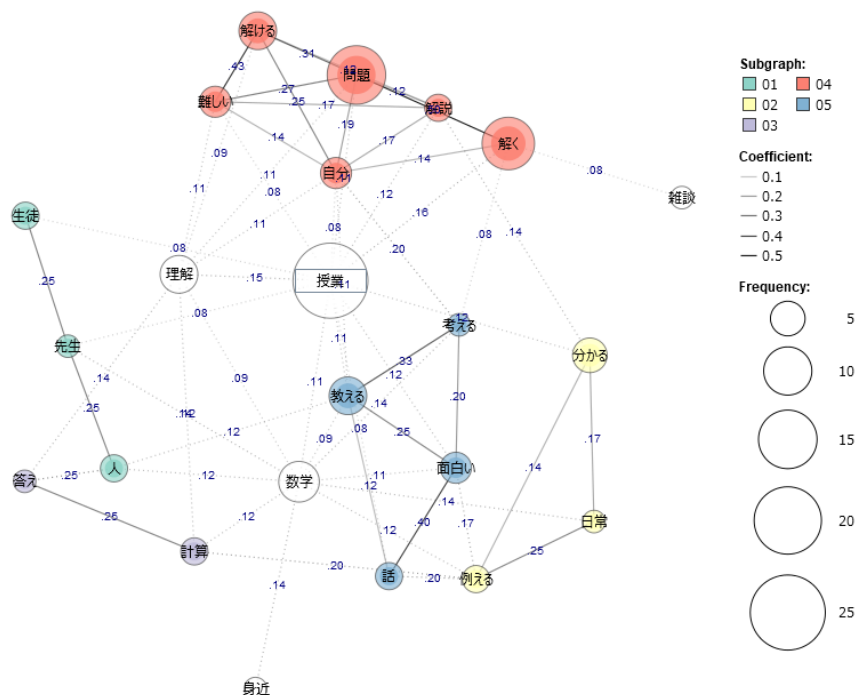


図3 面白い数学の授業 (共起ネットワーク)



以上より、面白い数学の授業として、対話型などの授業形態の工夫、分かりやすさや自信がつくような授業、演習と解説のバランスや授業の進行スピードなどの要素が見られた。

## 7. 希望する授業形態について

次に、面白い数学の授業について調査を行った。その結果、対面授業の希望 15 件、オンライン授業の希望 6 件、ハイブリッド授業の希望 3 件、その他となった。「その他」には、具体的な授業形態について言及していないコメントや、特定の授業形態について明確な希望を示していないコメントが含まれていた。

この結果から、多くの人々が対面授業を希望していることがわかる。一方で、オンライン授業やハイブリッド授業を希望する声もあり、学生たちは様々な授業形態に対して開放的であることが読み取れる。また、「その他」のカテゴリには、具体的な授業形態については言及していないものの、授業の質や進行方法についての意見が多く含まれていた。具体的には、アクティブラーニングや少人数制の授業、休憩を挟む授業進行、授業と雑談を交互に行うなどの意見が見られた。

この結果を KH Coder 3(3.Beta.07b) (以下 KH Coder 3) でテキストマイニング分析すると図4のようになる。

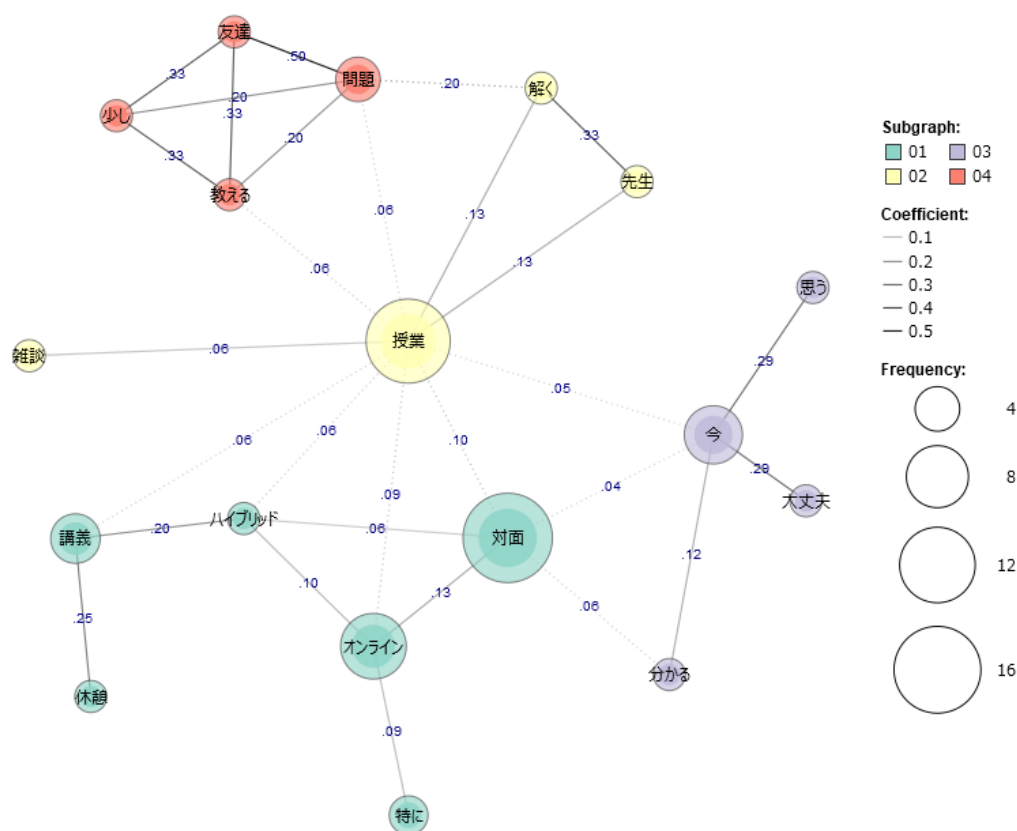


図4 希望する授業形態 (共起ネットワーク)

以上の結果から、学生たちは様々な授業形態に対して開放的であり、自分に合った学習スタイルを選べる環境を求めていることがわかる。また、授業の質や進行方法についての意見も多く、アクティブラーニングや少人数制の授業、休憩を挟む授業進行などの意見が見られた。

## 8. アンケート結果のまとめと考察

アンケートの回答から、多くの学生が「わかりやすさ」を重視しており、これは、説明の理解しやすさや、教材、教え方につながるものであると考えられる。また、や「自分で理解して解ける問題があること」など、単に教えられるだけでなく、自分自身で理解し、問題を解く能力を身につけることが重要であると感じていることを示している。また、授業形態に関しては「対面」、「オンライン」、「ハイブリッド」など、一人ひとりが自分に合った学習方法、授業形態を選べる環境を求めていることがわかる。つまり、個別最適化された学習方法を必要としていると考えられる。

## 9. 個別最適化された学習への対応としての動画教材の作成について

動画教材の作成にあたり、黒板全体が撮影できるように市販のビデオカメラを準備し、音声は無線マイクを使用した。動画撮影前に、講義で特に重要な点や過去の経験より学生がつまづきやすい箇所をピックアップし、それらを重点的に解説した。撮影時間としてはおおむね

動画の長さ（時間）はどのくらいがよいですか

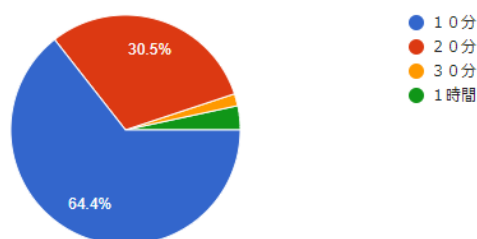


図 5 動画の適切な長さ（時間）

1時間程度であり、後の編集作業をスムーズに行うため編集ポイントをあらかじめ設定して撮影を行った。

編集作業としては、まず、開始部分に15秒程度のテーマ曲を配置し、その間に、動画の内容を表したタイトルを挿入した。さらに、特に重要なポイントや、注釈を必要とするものについてはテロップを挿入することで補った。また、動画の長さについては事前にアンケートを取っており、10～20分程度の動画を好むことを調査していたため（図5）、撮影した動画を10～20分の適当な範囲で分割し、1回の撮影で1～3つの動画となるよう編集した。

## 10. 動画教材の効果について

動画を活用した講義を以下のように実施した。最初に、講義内で動画を流す。その後、動画が終了したら、その内容の要約を解説する。次に、学生の理解度を確認するために、LMS(moodle)上に準備したプリント（小テスト）を解答させる。時間が許せば、次の動画に

移り、同様のプロセスを繰り返す。また、講義終了後には、動画に関する改善点について、アンケートを実施した。これは、学生の意見を取り入れて、動画を再編集するためである。最終的に、LMS 上にアップロードし、いつでもどこでも動画を活用して復習できるようにした。

最終講義にて動画教材の効果について、アンケートを実施したところ、「動画ありがたいです」「映像授業いいと思います」「動画の他にも解説があり、わかりやすかった」「動画を視聴した後に補足や解説を入れるという授業形式は初めてだったので、戸惑いはしたがわかりやすいと感じた。ありがとうございました。」等、好意的な回答が大多数であった。動画は役に立っていますか。という項目については、97.2%の学生が役に立っていると回答し（図 6）、役に立っていないと答えた学生はいなかった。

動画は役に立っていますか

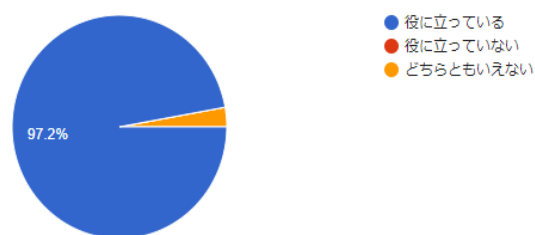


図 6 動画が役に立っているか

動画について質問です。講義の時間以外（テスト対策や予習、復習等）で動画を何回ぐらい視聴しましたか。（これから視聴する回数を踏まえて）

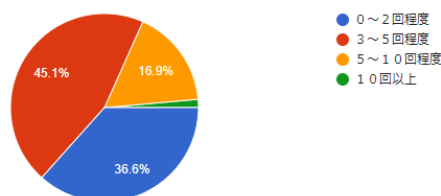


図 7 動画の視聴回数

動画を視聴するのは、【講義前】と【講義後】のどちらが良いと思いますか。

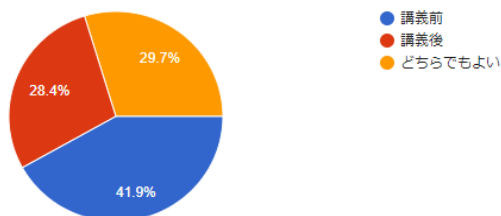


図 8 動画の視聴時期について

また、動画の視聴回数を問う項目については、0～2回という回答が36.6%であるが、3～5回が45.1%、5～10回と回答した学生が16.9%もいることが分かった（図 7）。

さらに、「動画を見返せるのはとてもありがたいです」「動画で復習もできるようになったのでありがたいです」「動画を見ながら復習したら理解できました。動画は復習が簡単なのでよいです」等の回答から、復習をするときに積極的に活用していることがわかる。このように、動画教材は学習者にとって価値あるリソースであり、その有効性を示すフィードバックが得られた。

最後に、動画を視聴するのは【講義前】と【講義後】のどちらが良いと思いますか。という項目では、講義前と回答した学生が講義後より上回っており、講義前に視聴する方が効果的だと考えていることが分かる（図 8）。今回は講義内で動画を流し、その後、復習用とし

て動画を活用することのみとなってしまったが、予習用として前もって動画を準備しておくことでさらなる効果が期待できる。

これらの結果より、学習意欲を向上させる取組として動画教材を用いた講義は非常に有用であり、数学に対する関心・意欲・態度についても同様の効果が期待される。

## 11. 結言

本研究では、教科の学習において「苦手になる理由」、「意欲が持てない理由」、「教員に求めるもの」、「面白い数学の授業とはどのようなものか」に関する調査の分析を行った。また、ICT 機器を活用し、復習用に動画教材を作成したり、eラーニングプラットフォームを活用したりするなど、指導法を工夫し、基礎的な知識を身に付けさせる取り組みを行った。

調査結果によると、「苦手になる理由」、「意欲が持てない理由」としては、個々の理解の深さ、計算能力、基礎知識の有無、感情的な要素など、多岐にわたることがわかった。「教師に求めるもの」としては、わかりやすさ、面白さと楽しさ、対応力と優しさ、具体例と実用性などであることがわかった。「面白い数学の授業とはどのようなものか」に関しては、対話型などの授業形態の工夫、分かりやすさや自信がつくような授業、演習と解説のバランスや授業の進行スピードなどの要素を求めていることが分かった。

これらの調査結果を踏まえ、個別最適化された学習支援のアプローチとして、LMS を利用した動画教材の開発を検討・実施した。これにより、学生はいつでもどこでも自分のペースで復習を行うことが可能になり、動画教材の導入後、学習意欲の向上を示すアンケート結果が得られ、この取り組みが非常に有効であることが確認された。

今後は、学習者のアセスメントをより詳細に分析し、意欲と学習成果の双方が向上するような指導技術の確立を目指したい。また、多忙化が問題となっている学校現場において、容易に活用できる教材の開発を目指し、実践を通して LMS 活用の在り方を考察していきたい。

## 文献目録

- 教職課程コアカリキュラムの在り方に関する検討会. (2017年11月17日). 教職課程コアカリキュラム.
- 犬塚美輪, 佐宗駿, 中村海斗. (2019). 「数学嫌い」になるのはなぜか. 日本心理学会大会発表論文集.
- 荒木友希子, 山口瞳. (2013). 数学に対する苦手意識が計算問題における学習性無力感現象の生起に与える影響. 北陸心理学会. 北陸心理学会編集委員会.
- 佐々祐之. (2000). 生徒の数学に対する意識に関する研究-中学生と高校生の意識差に関する一考察-. 日本教科教育学会誌.
- 杉本祐一. (2012). 数学嫌いの改善を目指した自己効力感向上に関する支援の研究. 上越教育大学数学教室.
- 川久保広臣. (2007). 数学における学ぶ意欲の育成とその指導方法の研究—小・中・高での算数・数学教育を通して—. 参照日: 2024年3月3日, 参照先:  
[https://www.kochinet.ed.jp/center/research\\_paper/h19\\_center\\_kenshusei/11\\_sugaku-iyokuikusei.pdf](https://www.kochinet.ed.jp/center/research_paper/h19_center_kenshusei/11_sugaku-iyokuikusei.pdf)

# Deep Learning における応用解析の観点からの一考察

## — 数値解析手法適用時の問題点とその影響を軽減する方策の検討 —

第一工科大学 工学部 情報電子システム工学科 當金 一郎

### 要旨

本稿では、近年注目を浴びている AI の基幹技術である Deep Learning について、応用解析学の一つである「数値解析学」の観点からの考察を行う。

数値解析学は、コンピュータ発達以前において主として「式変形」の形で自然現象を解明してきた「解析学」を、コンピュータを使うことにより「数値」ベースで扱うことを目的に発展してきた学問である。しかし、一方で解析学が「無限」を扱う極限の理論であるのに対して、数値解析学はコンピュータの特性上「有限」の範囲でしか対象を扱えない、という特徴を持ち、その為、その適用においては「真値と計算値の間の差」即ち「誤差」が問題になることが多い。特にそこで多用される繰り返し処理において、その途中で生じた「誤差」が次々と伝搬、増幅することによって、求める解の「振動」や「発散」の現象が起きる可能性がある。また数値解析学では必ずある数値を「初期値」として、そこから考察しているアルゴリズムに従って、一定の刻み幅で数値を動かしながら次々と新しい数値を得る、というプロセスにより処理を行う。この時用いる初期値、刻み幅の「数値の選び方」は、考えている個々の問題に依存していて、「統一されたルール」というものは無いのが普通であり、通常利用者は乱数や「0.01~0.5 の範囲の、ある程度小さな値」といった選び方をしてプログラムを実行する。しかし数値計算においては、開始から終了までの「計算時間が短い」、様々なケースに適用できる「汎用性が高い」、実際に得られる値の「計算精度が高い」等の条件を満たすことが求められる事が多く、その為には適切な初期値や刻み幅を選ぶことが必要となる。

一方で対象とする Deep Learning は数学的には「最適化問題の解法の一つ」と捉えることができ、その主たる目的は与えられた問題を表現する「モデル」のパラメータを、データを用いて「学習させる」ことであり、一旦学習によって「最適化された」モデルは、未知のデータに対して、分類その他の適切な対応を行えるようになる。しかし一方で現実の問題を扱う場合、この「モデルのパラメータ」が数万~数十万の規模となる、あるいは、それを求める為のデータも数百万~数十億といったビッグデータとなる、といったことが多く、その際には数値解析学の観点から見て「良い」と考えられる対応が求められる。

今回、上記の観点からこれに関していくつかの考察を行い、その結果を得たのでそれを報告する。

キーワード：Deep Learning、BP 法、パラメータ、ビッグデータ、数値解析、誤差伝搬、初期値、刻み幅

### 1. はじめに

数学を「道具」として、「理学部・数学科」以外の理工系学科において扱う際、その目的は多くの場合、「予測」か「制御」である。例えば無風の室内で吸った煙草の煙は「吸っている人および煙草の位置がずっと変わらない」場合でも、漂い始めからの「漂い方」が一樣ではなく、様々な方向に拡散していく。これは「ずっと変わらない」ように見えても、実際には「吸っている人や煙草の位置」は、ほんのわずかずつではあるが変化していて、その微妙な初期値の違いがその後の状態を大きく変える「カオス現象」として一般に認識される事例である。そしてこれを「 $t$ 時間後の煙の位置 $(x(t), y(t), z(t))$ を見出す」として扱えば「予測」となり、一方この煙をエアーカーテンなどで、あるエリア内に閉じ込めようとすれば「制御」となる。考察する対象のこのような挙動は、一般的に物理現象として、「初期条件」

や「境界条件」などが設定された「微分方程式」や「積分方程式」として記述されるが、コンピュータが発達する以前は、その挙動の「予測」や「制御」を行う場合、基本的に与えられた方程式を「解いて」、時間 $t$ や位置 $(x, y, z)$ などの関数 $F(x, y, z, t)$ を求めることが必要であり、その為の手法として発達したのが、所謂「解析学」である。しかし通常は想定される方程式は通常複雑であり、かつ現実の問題としてその方程式のパラメータは局所的にしか一様でないために、一意に「汎用的に用いることのできる関数 $F(x, y, z, t)$ を求める」ことは困難であることが多い。従って、コンピュータが発達した現在においては、有限要素法その他の「数値的な」アプローチによって現実問題の挙動を表現、更に時間 $t$ を動かしてシミュレーションを行うことにより上記「予測」や「制御」を行うことが常識になっている。そしてこの「数値的な」アプローチに関して発展した学問体系が「数値解析学」である。

一方、従来型の「予測」や「制御」といった用途に加えて、近年コンピュータを用いた「解析学の応用」として注目を浴びているのが、「ビッグデータ」と呼ばれる大量のデータを用いた「対象を識別し、分類できる」装置の開発であり、特に多層ニューラルネットワーク（以下多層 NN）を用いた機械学習手法の Deep Learning が「画像認識」を始めとする様々な分野で目覚ましい成果を挙げるようになってきている。

この Deep Learning による「対象を識別し、分類できる」装置は、まず「既存の膨大なデータ」を用いて「学習」を行う事で、「学習した成果」としての「ルール」や「知識」を用いて、その後与えられる「新たなデータ」に対して、適切な処置を行う事が可能になる。例えば「癌患者の医療画像」をビッグデータとして学んだ装置は、「癌の特徴」を「知識」として内部に持つことで、「癌を疑われる患者」に対して、その医療画像から「癌であるか否か」の診断を行う事ができる。あるいは「過去の将棋のタイトル戦における棋譜」を全て学んだ装置は、「将棋の勝ちパターン」をルールとして内部に持つことで、棋士と互角以上の対戦を行う事ができるようになる。更に最近では「ヒットする歌謡曲」をビッグデータとして学んだ装置が、加えられたノイズを利用して、これまでにない新しい「ヒットの可能性のある歌謡曲」を作曲することができるという、「生成系 AI」が話題を集めている。

このように Deep Learning は、「コンピュータを用いた現象の解析」として過去に例を見ないほど画期的なものであるが、例えば「最初に学習用として与えられるビッグデータの量や品質、適性にはどのような条件が必要なのか」「多層というが、実際には何層くらいが適切なのか、あるいはそれを決める指標はどのようなものなのか」等、様々な面でまだ不明な点も多く、また本質的に「応用科学的」、即ち「工学的」な技術であるため、これまでそこで用いられている「数学」の観点からは深くアプローチが為されてこなかった側面がある。本稿では上記に鑑み、特に「数値解析学」の視点からこの手法に関しての考察を試みる。

## 2. Deep Learning における数学的手法

最初に今回考察の対象とする Deep Learning において用いられている数学的手法について、歴史的経緯も踏まえて解説する。但し、Deep Learning は先に示したように現在進行形

の技術であり、また特に近年の成果については複数の書籍、論文において解説が為されている事を踏まえ、今回考察の対象とする部分に限って話を進める。

Deep Learning とは上記に示したように「多層 NN」の事であるが、この NN は「人間の脳の仕組みをモデル化すること」で「新たな情報処理装置を構築」しようとする試みから生まれたものであり、その嚆矢は 1943 年に発表された McCulloch-Pitts モデルである。

McCulloch と Pitts はこのモデルにおいて、人間の脳を構成する要素である「ニューロン」を多入力 1 出力の閾値素子のユニットとして扱い、更にこのユニットを論理的な制御素子として複数個、結合させることで任意の論理関数が表現できることを示した。(図 1)

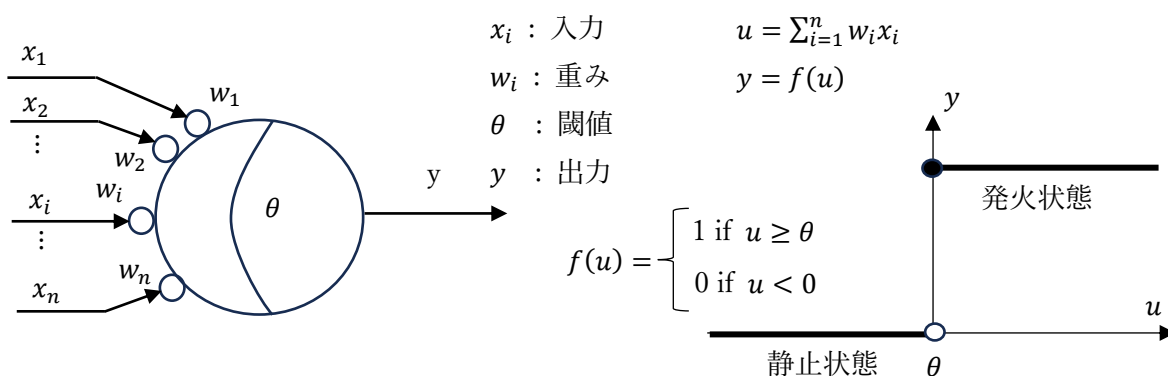


図 1 McCulloch-Pitts モデルにおけるユニット (人工ニューロン)

実際、例えば上記で  $n = 2$  とし、 $x_1 = 0$  or  $1$ 、 $x_2 = 0$  or  $1$  とする入力に対して

- (1)  $w_1 = 1$ 、 $w_2 = 1$ 、 $\theta = 1.5$  とすると AND 素子に、
- (2)  $w_1 = 1$ 、 $w_2 = 1$ 、 $\theta = 1.0$  とすると OR 素子に、

また  $n = 1$  に対して  $w_1 = -1$ 、 $\theta = -0.5$  とすると、NOT 素子になり、これらを組み合わせればいかなる論理回路も構築できることが分かる。

尚、ユニット (人工ニューロン) に関する基本的な考え方は、以降もこれを踏襲しており、上記の閾値関数を含めて、入力の線形和  $\sum_{i=1}^n w_i x_i$  から出力  $y$  を得る際の非線形関数  $f(u)$  は「活性化関数」と呼ばれる。

続いて 1958 年に Rosenblatt はユニット群を「入力層」と「出力層」の 2 層に分離し (このような NN を「階層型 NN」と呼ぶ)、入力層のユニットは「外部からの信号を受信する装置」として、一方出力層のユニットは「入力層から受け取った入力パターンを、いくつかのクラスに分類する装置」として扱うことを提案し、これを「パーセプトロン」と命名した。例えば今出力層として 1 ユニットから成る装置を考え、入力パターンを 2 つのクラス {A, B} に分けることを考える。入力層のユニット  $j$  (但し  $1 \leq j \leq M$  とする) は外部から受け取った信号をそのまま出力層に伝えるものなので  $w_1^j = 1$ 、又活性化関数は  $f_j(u) = u$  となる。この入力層のユニットに与えられる信号は一般には  $M$  次元空間上の点 (ベクトル) として与

えられる。

一方、出力層のユニットは活性化関数として前記の閾値関数を取り、その際の線形和の重み  $w_j$ 、及び閾値  $\theta$  は最初、乱数で与えておく。今入力パターン  $\{x_j\}^k$  (但し、クラス A:  $1 \leq k \leq N_1$ 、クラス B:  $N_1 \leq k \leq N$  とする) に対する出力層のユニットの出力値  $y^k$  はこの時、様々な値を取るが、教師信号 (クラスラベル)  $t_p^k$  としてクラス A には  $t_p^k = 1$  を、クラス B には  $t_p^k = 0$  を与え、更にこれを用いて「コスト関数」  $E_p^k = t_p^k - y^k$  を計算、重み  $w_j$  と閾値  $\theta$  の修正量を  $\Delta w_j^k = \eta E_p x_j$ 、 $\Delta \theta^k = \eta E_p$  として、 $w_j = w_j + \Delta w_j^k$ 、 $\theta = \theta + \Delta \theta^k$  の繰り返し計算を行う。

( $\eta$  は学習率と呼ばれる定数であり、通常  $0.1 \sim 0.0001$  のような小さな値が使われる)

全ての  $k$  において、 $E_p^k < \varepsilon$  (但し  $\varepsilon$  は、ある微小定数) となったら終了である。

このパーセプトロンは入力パターンのクラスが  $M$  次元空間上で線形分離可能な場合は、有限回の計算 (学習) でクラスを分離する能力 (「汎化能力」と言う。) を持たせることができ、未知のデータを入力層に入れた場合において判別能力を持つ (即ちクラス A、B のどちらに属するか判別できる) ことが「パーセプトロンの収束定理」として証明されている。(図 2)

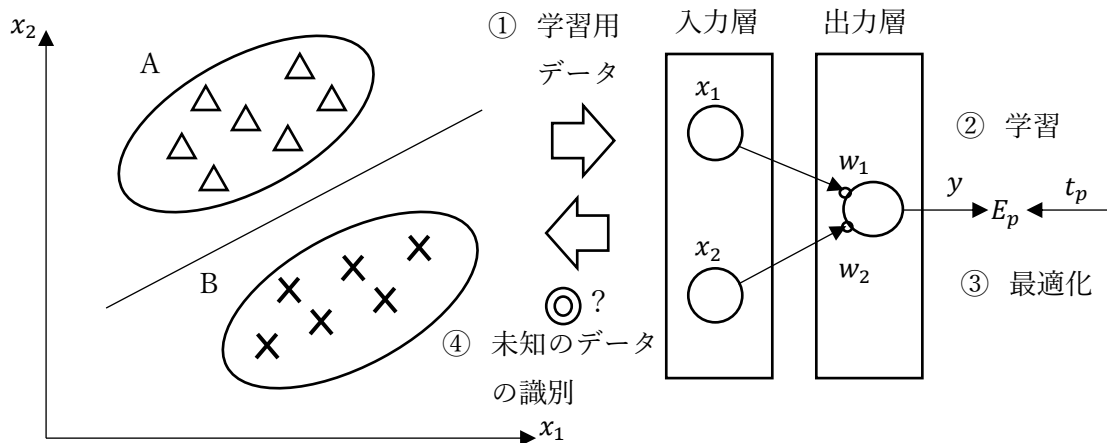


図 2 2次元空間上の線形分離可能なデータ群に対するパーセプトロンの能力

しかし、このパーセプトロンの「学習用データの線形分離可能性」の条件が適用できる問題は限定的であり、特に一番応用が期待された画像処理に適用できないことが 1960 年代後半に Minsky らによって明らかになったことで、その後 NN の研究は下火となった。特にパーセプトロンでは出力層の重みの修正のみに留まったことが誤り訂正学習則の限界と捉えられた。この状況を変えたのが、1980 年代に Rumalhart、Hinton、Williams によって提案された「誤差伝搬学習法 (Back Propagation Method。以下 BP 法) である。これは出力層の前に置いた隠れ層 (中間層) の重みをも、コスト関数を用いて修正するものであり、特に隠れ層が 1 層のみでなく多層の場合でも適用でき、応用が期待された。以下、この BP 法について解説する。

BP 法ではそれまで用いられていた閾値関数に代わってシグモイド関数  $\text{sig}(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$  が



活性化関数として採用された。このシグモイド関数は不連続な閾値関数では行えなかった「微分」を行え、かつ形状的には閾値関数と類似して関数として、採用されたものである。またシグモイド関数は制約された環境下における生物の成長や魅力的な新製品の販売台数、正しい工程により作られたプログラムのバグ検出数といった現実世界における様々な現象を表現するカーブである「成長曲線」を表現する関数として、以前から良く知られたものであることも、これが採用された理由の一つであったと考えられる。

今、BP法を適用する「階層型 NN」として、一番基礎的な入力層、隠れ層、出力層の3層から成るものを考え、各々を層(1)、(2)、(3)と番号付けする。又データは教師信号付きで全部でLセットが与えられているとして、各セットを番号 $l$  ( $1 \leq l \leq L$ )を用いて $\{x_{il}, \{t_{kl}\}$ で表す。ここで $x_{il}$ は $l$ 番目データの入力層の $i$ 番目ユニットに与えられる信号、 $t_{kl}$ はその際の出力層の $k$ 番目ユニットの教師信号である。また、各ユニットの重みとバイアスの初期値は乱数により与えられているものとする。

隠れ層の $j$ 番目ユニット ( $1 \leq j \leq N_2$ ) は入力層の $i$ 番目ユニット ( $1 \leq i \leq N_1$ ) からの信号 $x_{il}$ を重み $w_{ji}^{(2)}$ 付きの信号として受け、これらと、更にバイアス $b_j^{(2)}$ を合わせたものを加えて、和 $z_{jl}^{(2)} = \sum_{i=1}^{N_1} w_{ji}^{(2)} x_{il} + b_j^{(2)}$ としてまとめる。更にこの $z_{jl}^{(2)}$ を活性化関数 (=シグモイド関数)  $a(z) = \text{sig}(z)$ で変換した $a_{jl}^{(2)} = a(z_{jl}^{(2)})$ を出力する。

次いで出力層の $k$ 番目ユニット ( $1 \leq k \leq N_3$ ) は隠れ層の $j$ 番目ユニットからの信号 $a_{jl}^{(2)}$ を重み $w_{kj}^{(3)}$ 付きの信号として受け、隠れ層と同様、これらとバイアス $b_k^{(3)}$ を合わせて加えた和 $z_{kl}^{(3)} = \sum_{j=1}^{N_2} w_{kj}^{(3)} a_{jl}^{(2)} + b_k^{(3)}$ にまとめる。そしてこの $z_{kl}^{(3)}$ を変換した $a_{kl}^{(3)} = a(z_{kl}^{(3)})$ を出力する。ここまでの順方向の計算である。

次に逆方向の計算を用いて重みとバイアスの修正を行う。ここで用いられる手法はBP法では「勾配降下法」と呼ばれるが、数値解析において一般的に「最急降下法」と命名されているもので、連続な $n$ 変数実関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ に対して、 $R^n$ におけるこの関数の最小値を与える $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ を、初期値 $x^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$ から出発して、順次 $x^{(i)} = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = (x_1^{(i-1)} + \Delta x_1^{(i-1)}, x_2^{(i-1)} + \Delta x_2^{(i-1)}, \dots, x_n^{(i-1)} + \Delta x_n^{(i-1)})$ と修正しながら求めるものである。(図3) 以下、順次段階を追って説明を行う。

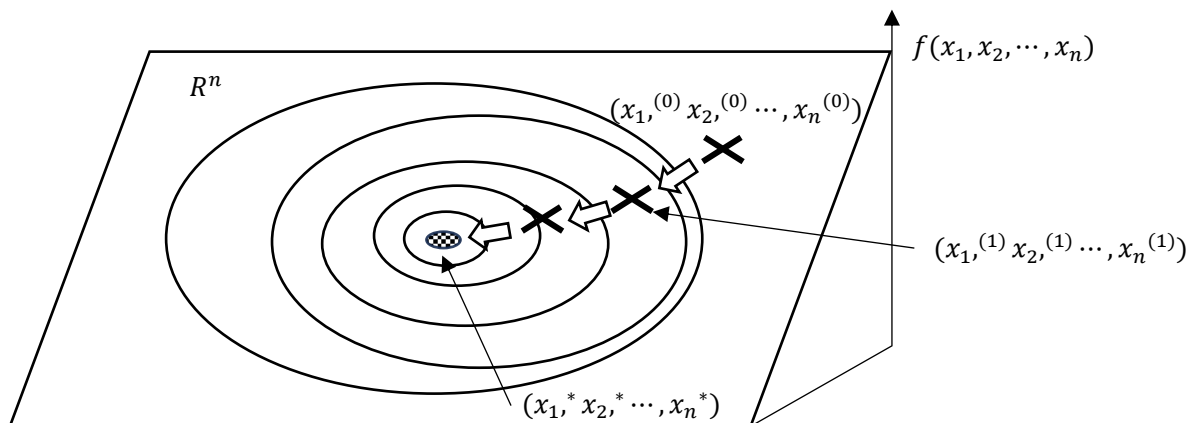


図3 勾配降下法のイメージ図

(1) 連続な $n$ 変数実関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ に対して、各 $x_j$ を $x_j^{(i-1)}$ から $\Delta x_j^{(i)}$ だけ微小変化させた時の $f$ の変化を $\Delta f$ とすると、近似的に $\Delta f = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_j} (x_1^{(i-1)}, x_2^{(i-1)}, \dots, x_n^{(i-1)}) \cdot \Delta x_j^{(i)}$ となる。これは2つのベクトル $(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n})$ 、 $(\Delta x_1^{(i)}, \Delta x_2^{(i)}, \dots, \Delta x_n^{(i)})$ の内積であり、これが最小となる、即ち $\Delta f$ が最も大きく減少するのは、この2つのベクトルが正反対の向きにある時であることから、この時 $(\Delta x_1^{(i)}, \Delta x_2^{(i)}, \dots, \Delta x_n^{(i)}) = -\eta(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n})$ となる。(ここで $\eta$ は「学習率」と呼ばれるある定数であり、大きすぎると最小点を越えてしまい、又小さすぎると極小点にはまってしまうことから、通常0.01から0.9の間のある小さな値が指定される) この式の右辺の $(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n})$ はベクトル解析における $\nabla f$ であり、よって $\Delta x = -\eta \nabla f \cdots (a)$ が求める $x$ の変化量となる。

(2) 次にこの(1)を用いて、先程の出力層の各ユニットの重みとバイアスの修正を行う。対象として、出力層の $k$ 番目ユニットの出力 $a_{kl}^{(3)}$ と教師信号 $t_{kl}$ の2乗誤差 $(a_{kl}^{(3)} - t_{kl})^2$ を全データに渡って纏めた「コスト関数」 $C = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^M \sum_{k=1}^{N_3} (a_{kl}^{(3)} - t_{kl})^2$ を考える。この $C$ に対して $w_{kj}^{(3)}$ における偏微分は、「出力層における $k$ 番目ユニットのユニット誤差」 $\delta_{kl}^{(3)} = \frac{\partial C}{\partial a_{kl}^{(3)}}$ を用いて $\frac{\partial C}{\partial w_{kj}^{(3)}} = \delta_{kl}^{(3)} \cdot \frac{\partial z_{kl}^{(3)}}{\partial w_{kj}^{(3)}}$ と表される。 $\delta_{kl}^{(3)} = \frac{\partial C}{\partial a_{kl}^{(3)}} \cdot \frac{\partial a_{kl}^{(3)}}{\partial z_{kl}^{(3)}}$ であり、上記より $\frac{\partial C}{\partial a_{kl}^{(3)}} = a_{kl}^{(3)} - t_{kl}$ 、又 $a(z) = \text{sig}(z)$ より $\frac{\partial a_{kl}^{(3)}}{\partial z_{kl}^{(3)}} = a_{kl}^{(3)}(1 - a_{kl}^{(3)})$ 、更に先の $z_{kl}^{(3)}$ の定義式より、 $\frac{\partial z_{kl}^{(3)}}{\partial w_{kj}^{(3)}} = a_{jl}^{(2)}$ となる。

これらを纏めて $\frac{\partial C}{\partial w_{kj}^{(3)}} = (a_{kl}^{(3)} - t_{kl})a_{kl}^{(3)}(1 - a_{kl}^{(3)})a_{jl}^{(2)}$ と計算される。

同様に、 $b_k^{(3)}$ における偏微分は $\frac{\partial C}{\partial b_k^{(3)}} = (a_{kl}^{(3)} - t_{kl})a_{kl}^{(3)}(1 - a_{kl}^{(3)})$ となる。

これにより出力層の各ユニットの重みとバイアスの修正量を先の(a)式より計算できる。

(3) 更に隠れ層の各ユニットの重みとバイアスの修正は以下のように行う。

対象とする関数は先と同様のコスト関数 $C$ である。 $C$ に対して $w_{ij}^{(2)}$ 、 $b_j^{(2)}$ における偏微分は、「隠れ層における $j$ 番目ユニットのユニット誤差」 $\delta_{jl}^{(2)} = \frac{\partial C}{\partial z_{jl}^{(2)}}$ を用いて

$\frac{\partial C}{\partial w_{ji}^{(2)}} = \delta_{jl}^{(2)} \cdot \frac{\partial z_{jl}^{(2)}}{\partial w_{ji}^{(2)}}$ 、 $\frac{\partial C}{\partial b_j^{(2)}} = \delta_{jl}^{(2)}$ と表される。

ここで $z_{jl}^{(2)} = \sum_{i=1}^{N_1} w_{ji}^{(2)} x_{il} + b_j^{(2)}$ より $\frac{\partial z_{jl}^{(2)}}{\partial w_{ji}^{(2)}} = x_{il}$ 、又 $\delta_{jl}^{(2)}$ は多変数のチェーンルール

を用いて $\delta_{jl}^{(2)} = \sum_{k=1}^{N_3} \frac{\partial C}{\partial z_{kl}^{(3)}} \cdot \frac{\partial z_{kl}^{(3)}}{\partial a_{jl}^{(2)}} \cdot \frac{\partial a_{jl}^{(2)}}{\partial z_{jl}^{(2)}} = \left\{ \sum_{k=1}^{N_3} \frac{\partial C}{\partial z_{kl}^{(3)}} \cdot \frac{\partial z_{kl}^{(3)}}{\partial a_{jl}^{(2)}} \right\} \frac{\partial a_{jl}^{(2)}}{\partial z_{jl}^{(2)}}$ となる。

この式の $\frac{\partial C}{\partial z_{kl}^{(3)}}$ は(2)で求めた「出力層における $k$ 番目ユニットのユニット誤差」 $\delta_{kl}^{(3)}$ であり、 $\frac{\partial z_{kl}^{(3)}}{\partial a_{jl}^{(2)}} = w_{kj}^{(3)}$ は修正する前の「出力層における $k$ 番目ユニットに対する隠れ層の $j$ 番目ユニットからの出力に対する重み」、更に $\frac{\partial a_{jl}^{(2)}}{\partial z_{jl}^{(2)}} = a_{jl}^{(2)}(1 - a_{jl}^{(2)})$ となる。

これにより、隠れ層においても各ユニットの重みとバイアスの修正量が求められることになる。

尚、今回は説明を簡単にする為に隠れ層が1層の「3層のNN」を考えたが、隠れ層が複数層である「多層(H層)のNN」の場合においても、上記と同様の以下の式によって全てのユニットの重みとバイアスが求められることが出来る。(図4)

$(h+1)$ 層( $1 \leq h \leq H$ )の $s$ 番目ユニット ( $1 \leq s \leq N_{h+1}$ ) のユニット誤差 $\delta_{sl}^{(h+1)}$ を用いた  $h$ 層の $t$ 番目ユニットのユニット誤差は  $\delta_{tl}^{(h)} = \{\sum_{s=1}^{N_h} \delta_{sl}^{(h+1)} w_{st}^{(h+1)}\} a_{tl}^{(h)} (1 - a_{tl}^{(h)})$  である。 $h$ 層における $(h-1)$ 層の $q$ 番目ユニットからの重み $w_{tq}^{(h)}$ の修正量は $\delta_{tl}^{(h)} \cdot a_{ql}^{(h)}$ であるから、これにより $h$ 層の各ユニットの重みの修正量が計算できる。バイアスの修正量の計算についても同様である。

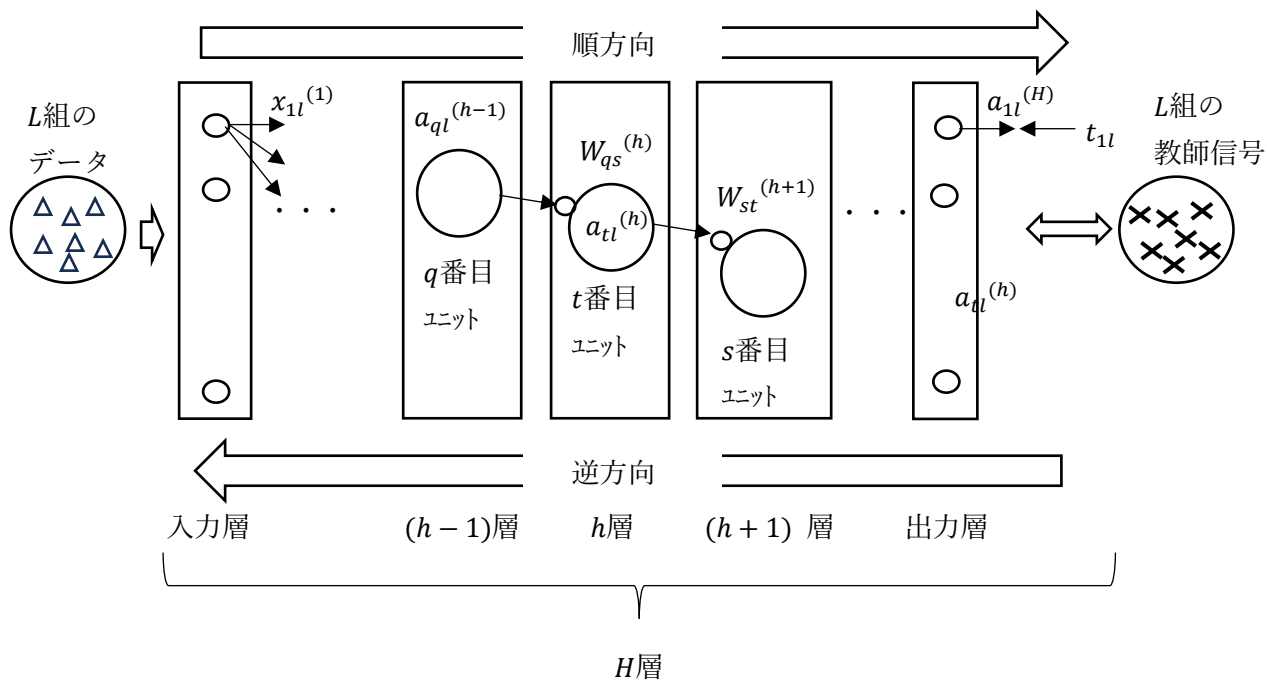


図4 多層 NN における BP 法の処理

この「順方向⇒逆方向⇒順方向⇒逆方向⇒・・・」を繰り返し行って、コスト関数 $C$ の値がある $\varepsilon > 0$ に対して、 $C < \varepsilon$ となったら終了である。

### 3. BP 法以降の今日までの Deep learning の道のり

2. に見たように NN は BP 法の登場により 80 年代半ばにおいて大きな期待を集めるようになり、一時期盛んに研究が行われた。しかしこのブームは 90 年代後半に、一旦終焉する。その原因として岡谷らは大きく 3 つの理由を挙げている。<sup>1</sup>

一つ目は BP 法による NN の学習が隠れ層 1 層の 3 層ではある程度うまくいくが、4 層以上ではあまりうまくいかないことが徐々に分かってきたことである。これは実は BP 法において採用されたシグモイド関数に原因があることが後に判明するが、出力層における出力と教師信号によるコスト関数を用いた修正が、出力層に近い層においては有効であるが、離れるにしたがって全く効果がなくなっていくのである。実際にシグモイド関数の微分値は常に 1 よりも小さく、その最大値は $x = 0.5$ における値  $sig'(0.5) = 0.25$  である。かつこ

<sup>1</sup> 岡谷貴之, 斎藤真樹「ディープラーニング」情報処理学会研究報告, Vol2013-CVIM-185 No.19, 2013 年

のカーブが画像処理における「コントラストを上げる為のトーンカーブ」として使われていることから分かるように、シグモイド関数を通した値は入力値が 0.5 以上ではより 1 に近く、0.5 以下ではより 0 に近い値として出力される。これは逆関数においても同様であり、従って最初に出力の差異がある程度あっても、多数の層を経る間にその差異は 0、1 のいずれかに集約されることになり、その効果は殆ど消滅してしまうことになる。これは現在「勾配消失問題」として知られている問題である。

二つ目は与えられた問題に対して、どのように層の数や隠れ層内のユニット数を決定するかについて、明確な法則や指針が与えられなかったということである。これについては、現在においても多層 NN、即ち Deep Learning について、それがなぜうまく行くのか、逆に言えばどのように構築したら良い Deep Learning がおこなえるのか、については未だに明確には分かっておらず、言わば「理論」というよりも「うまく行く方法が見つかったので、それを使おう」という「定石」を見つけているのが、現時点までの Deep Learning 研究の実際である。こうした発展の仕方は「はじめになぜかうまく行く実験結果や、それまでの理論とは矛盾する実験結果が見つかり、その理由を探すための解明を行っていく中で、徐々に謎が解かれていく」実験科学の世界に近い、とまで言われている状況である。

そして三つ目の理由は 1990 年代当時の計算機の処理能力が、現実の問題に対する規模のネットワークを扱うには、あまりにも不足していたことである。現在 Deep Learning のような大量の計算を行う際に使用されるのは、元々はゲームなどでグラフィックスを専門に扱っていた GPU であるが、この GPU がグラフィックスなどの動画像作成以外の用途で使用させるようになるのは 2005 年以降であり、更に 2006 年以降この GPU の性能は飛躍的に進歩する。<sup>2</sup> (図 5)

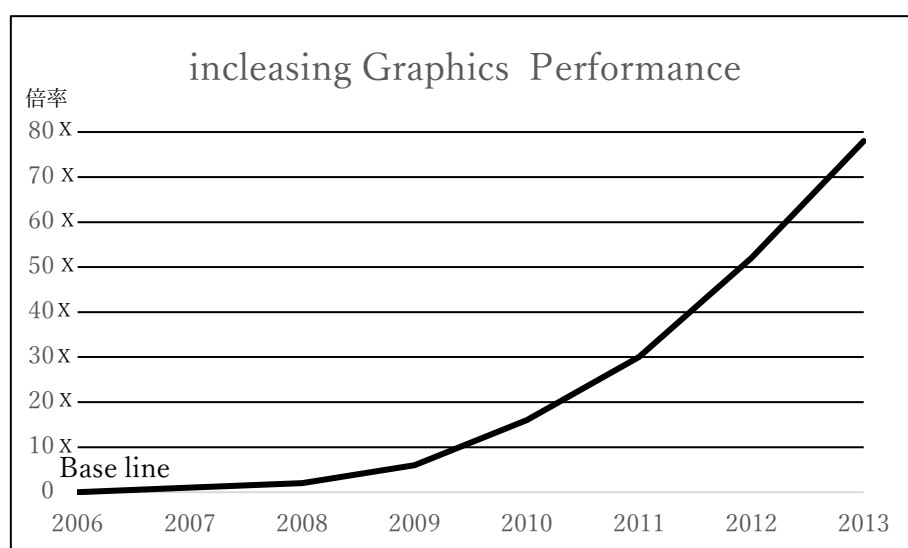


図 5 Intel の内臓 GPU の性能進化 (2006-2013)

<sup>2</sup> <https://androgamer.net/2017/02/03/post-3569/>

Deep Learning 元年と言われる 2012 年<sup>3</sup>においてこの計算機の処理能力が 2000 年以前と比べると段違いになっていたことが、現在の AI 時代へ繋がる一つの大きな要因になったことがこのことから分かる。

この多層 NN による機械学習を Deep Learning と呼んだのは 2006 年のトロント大学の Hinton が初めてであるが、上記に述べたように 2012 年以降、その技術は急速に進化し、例えば ILSVRC における物体認識のエラー率は、その後 5 年間近くに渡って毎年、前年の半分になるという驚異の結果を残す。その Break Through の要因として岡之原は、こちらも 3 つの発明を挙げている。<sup>4</sup>

一つ目の発明は ReLU 関数などの「改良された活性化関数」である。上記に見たように活性化関数としてシグモイド関数を用いた場合「勾配消滅」現象が発生し、出力におけるコスト関数の評価の効果が、出力層から離れた層において無くなってしまう。これを防ぐため「ReLU 関数」「Tanh 関数（いわゆる双曲線正接関数）」「LReLU 関数」「Softmax 関数」「ELU 関数」「SELU 関数」「Swish 関数」「GELU 関数」など様々な活性化関数が提案され、各々、学習効果、汎化性能などにおいて優れた効果を持つことが報告されている。（図 6）

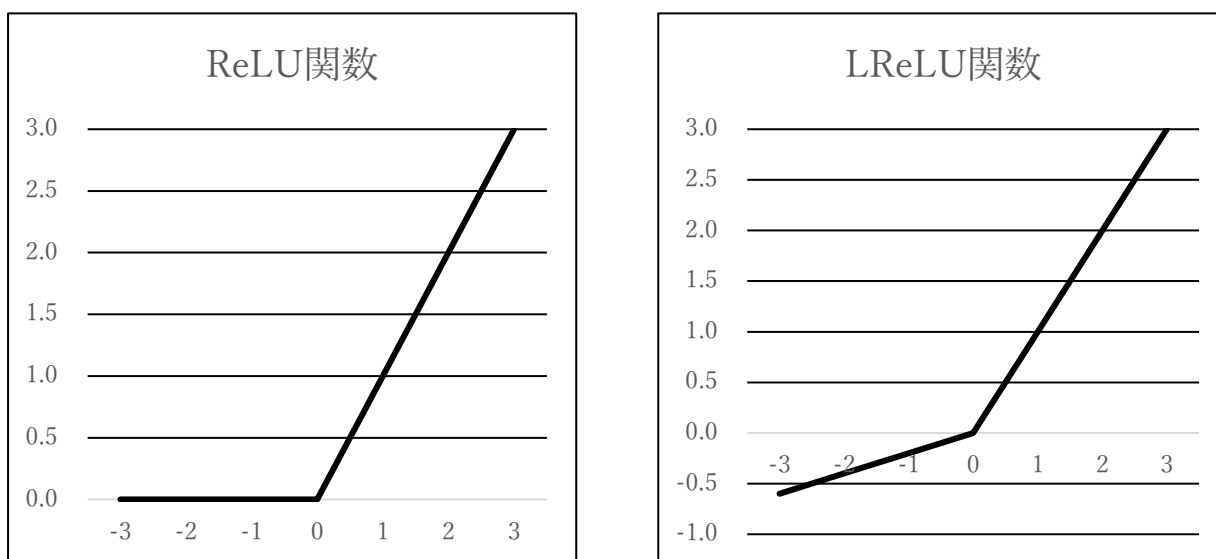


図 6 提案されている活性化関数の例

続いて二つ目の発明は「スキップ接続」である。これは  $i$  層から  $i + 1$  層へのデータ渡しに

<sup>3</sup> この年に「Le.らの Google 研究チームによる Youtube からのランダムに取り出した大量画像による、人や猫などの顔を選択的に反応するニューロンの生成 (ICML)」「トロント大学のチームによる Deep Learning を用いた物体認識精度の画期的向上（過去のエラー率 26% に対し、断トツの 17% のエラー率をマークして優勝）(ILSVRC)」など大きな研究成果が報告された。

<sup>4</sup> 岡之原大輔「ディープラーニングを支える技術～『正解』を導くメカニズム～ [技術基礎]」, 技術評論社, 2022

において、 $i + 1$ 層の入力を「 $i$ 層の入力 ( $i - 1$ 層の出力)」 & 「 $i$ 層の出力」とするものである。  
 (図 7)

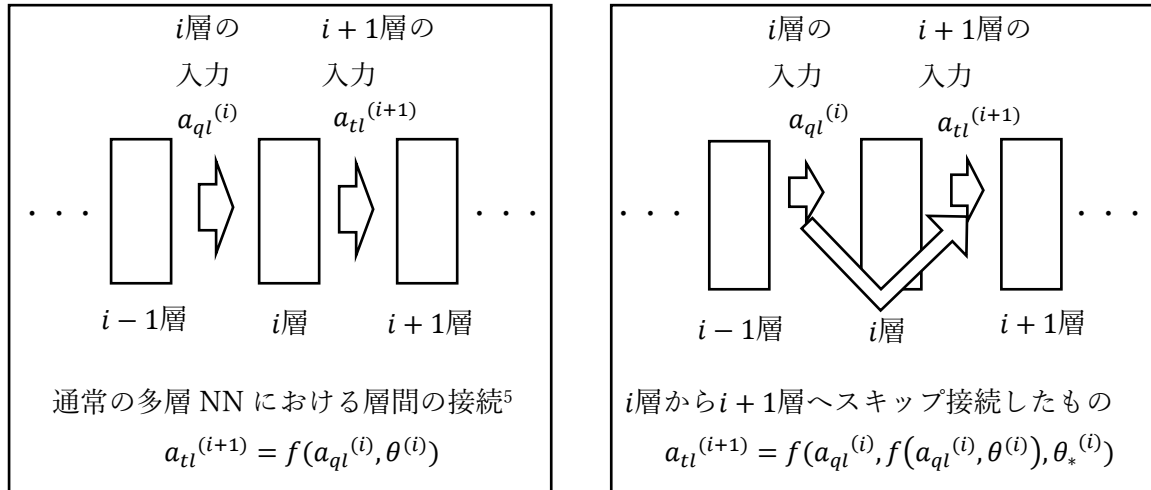


図 7 通常の層間接続とスキップ接続の比較( $N = 1$ の場合)

即ちこの時、 $i + 1$ 層の各ユニットにおける線形和は、 $i - 1$ 層の出力と $i$ 層の出力を用いたものに対して行われる。尚、このスキップ接続は途中の複数層をスキップして  $N$  層先の層へ繋げるやり方でも用いられ、その意味から「迂回パス」とも呼ばれる。上記は順方向のみ図示したが、実際には順方向でスキップされたものに対しては、逆方向のパラメータ修正時においても用いられる。このスキップ接続は「BP 法において上層（出力層により近い層）でのコスト関数の評価を下層（入力層により近い層）へと崩さずに伝える」役割を果たしている。スキップ接続が導入される以前は、例えば画像認識の分野でデータ画像の細かな特徴の抽出が行える手法として知られる CNN(*Convolutional Neural Network*)においても、そこで用いられる「畳み込み層」と「プーリング層」が「幾層も繰り返して使用され」た場合、「勾配消失問題」が頻出することが知られていた。その為学修可能な NN としては 10 層程度が限界であったが、スキップ接続を利用することで、上層において見出された低レベルの特徴を下層へと直接搬送して生き残らせることが可能になり、これにより現在は数百の層による Deep Learning が実装されている。<sup>6</sup>

そして三つ目の発明は「正規化手法」である。これは各層における入力の線形和を、活性化関数に渡す前に「正規化関数」と呼ばれる関数を通す（「正規化関数を適用する層を「正規化層」と呼ぶ」ことにより、活性化関数に入力する値の統計的な分布を標準的な形（主として平均を 0、分散を 1 とする分布）に調整するものである。（図 8）

<sup>5</sup>  $f$ は一般には「パラメータ $\theta$ を用いた入力の線形和と活性化関数を組み合わせた非線形関数」である

<sup>6</sup> 例えば、2015 年に Microsoft Research の Kaiming He により開発され、現在画像認識のモデルとして良く用いられている Residual Network の層数は最大 152 層である。

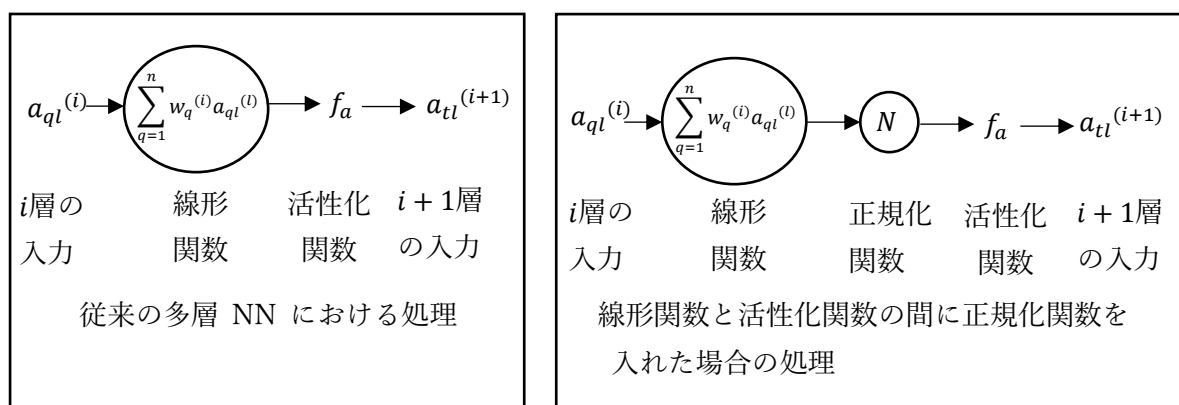


図8 従来の層内における処理と正規化処理を導入した場合の処理の比較

実際、線形和部分（線形関数。 $\sum_{q=1}^n w_q a_q = Wa$ 。ここで $W$ は重み、 $a$ は入力各ベクトル）に対して勾配降下法を用いた学習を行なう場合、入力の各次元の平均が0、または分散のスケールが同じである方が、学習させやすい方が分かっている。

この正規化の手法（正規化関数あるいは正規化層）として代表的なものとして $h^{(i)} = W^{(i)} a^{(i)}$ に対し、平均 $m^{(i)} = \sum_{q=1}^n h^{(i)} / n$ 、分散 $v^{(i)} = \sum_{q=1}^n (h^{(i)} - m^{(i)})^2 / n$ により、活性化関数への入力を $u^{(i)} = (h^{(i)} - m^{(i)}) / \sqrt{v^{(i)}}$ とした「バッチ正規化」や、その計算量を減少させるため、訓練用データ全体でなく、その中から確率的に部分集合を取ってバッチ処理を行う「ミニバッチ正規化」、更にはその変種である「サンプル正規化」や「グループ正規化」「重み正規化」など様々な正規化手法が提案されている。

このバッチ正規化を行う事により、Deep Learningの学習が劇的に安定するようになった。

上記3つの発明により Deep Learningは大量の学習データを使って高速に学習する事が出来る（つまり、ビッグデータを扱うことが可能になった。）ようになると同時に、その学習した結果として優れた汎化能力（学習データ以外の、未知のデータに対して適切な処置を行うことができる能力）を持たせることが出来るようになり、現在に至っている。

#### 4. 数値解析学の観点からの考察

1. でも述べたように、自然現象のみならず社会現象においても、現実の現象の多くは微分方程式で記述される。そして、そのような方程式を解いて、現象をより簡便な形、あるいは見やすい形にして扱うことを目的に、発展した学問が解析学である。

一方でコンピュータが登場したことをきっかけに、現象を「式」ではなく「数値」の形で表現しようとして生み出されたのが数値解析学であるが、この数値解析学は適用に際して、それが「コンピュータ」というツールを使う為に、解析学とは異なるいくつかの点からの注意が必要とされる。以下数値解析学の適用におけるいくつかの観点からのDeep Learningに対する考察を行う。

まず一点目としては、解析学が扱うのが基本的に「無限小」や「無限大」といった「極限」であり、そこで使用される「数」は、無理数を含んだ「実数」であるのに対して。数値解析学では、「有限桁の範囲でしか数を表現できない」コンピュータの能力の限界から、扱える数値が「真値」とは若干異なる「近似値」となる、ということである。この「真値」と「近似値」の差は一般に「誤差」と呼ばれるが、数値解析学においてはこの「誤差」の影響を如何に少なくして、「正しい」計算を行わせるかが重要となる。

この数値解析学の「誤差」には ①解析学では「無限級数」として扱われており、従って無限の項数を足し合わせなくてはならないものを、一定の項数までで打ち切ることによって生じる「打ち切り誤差」 や ②「近似値」が「真値」に対して、どこまで正しいかを表す「有効桁数」が、「近似値」どうしの四則演算によって減少する「丸め誤差」 などがある。そしてこの「丸め誤差」が「反復計算」と組み合わせられることにより、徐々に誤差が拡大していくことを「誤差伝搬」と呼ぶ。

前に述べたように、過去の解析学の応用事例の大半は現象の時間的変動を扱う「予測」か「制御」であり、そこにおいては「誤差伝搬」は時間と進行し、それが計算の振動現象を引き起こし、結果が徐々に崩れていくことが起こり得る。(図9)

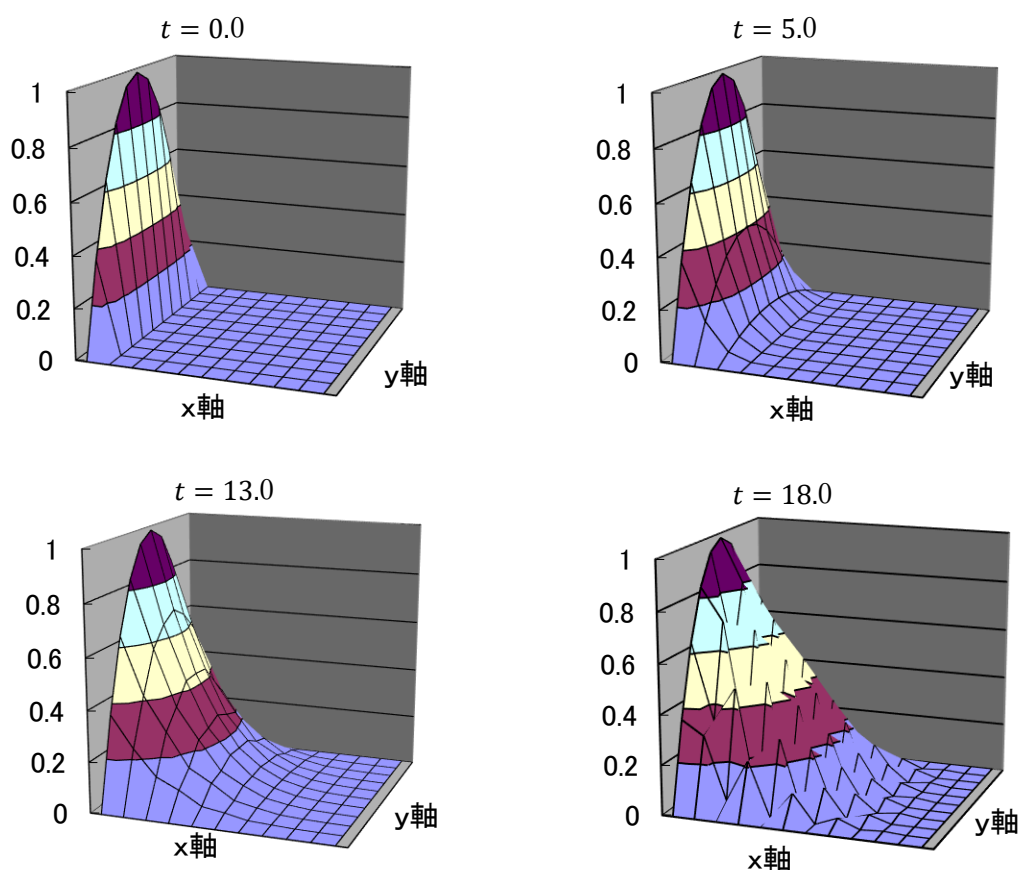


図9 1点に定熱源のある2次元熱伝導方程式  $\frac{\partial u}{\partial t} = \kappa \left( \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)$  の差分解法によるシミュレーション ( $\kappa = 0.07$ ,  $\Delta t = 0.05$ ,  $\Delta x = 0.1$ ,  $\Delta y = 0.1$ )



ここでは1点に定熱源のある2次元の系における、温度 $u(x, y, t)$ の変化を、時間刻み幅 $\Delta t = 0.05$ 、 $x$ 軸刻み幅 $\Delta x = 0.1$ 、 $y$ 軸刻み幅 $\Delta y = 0.1$ での差分法で計算しているが、 $t = 18.0$ で誤差伝搬により形が崩れている。尚、時間刻み幅をより細かくした $\Delta t = 0.03$ ではこの崩れは起きていない。(図10)

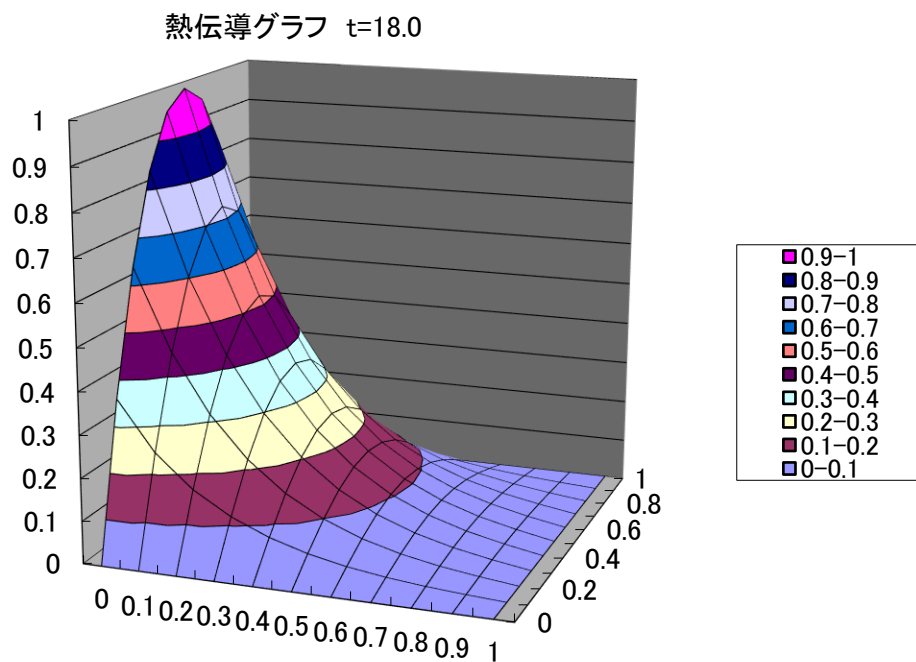


図10 先の2次元熱伝導方程式  $\frac{\partial u}{\partial t} = \kappa(\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2})$  のシミュレーションを $\Delta t = 0.03$ で実施

Deep Learning においても重み、バイアスの修正量 $\Delta w$ 、 $\Delta \theta$ は学習率 $\eta$ により決められるが、その際に徐々にこの $\Delta w$ 、 $\Delta \theta$ が0に収束していく場合は良いが、コスト関数の値の挙動によってはプラスマイナスの振動や発散が起り得る。従って、プログラム中に $|\Delta w|$ 、 $|\Delta \theta|$ の値評価を組み込み、値が漸増していく場合はそこでそのパラメータの修正を打ち切る対策が必要である。これ一方では Deep Learning の目的が「モデルのパラメータをデータを用いて最適化する」ことであり、今見た熱伝導方程式とは異なり 100%の精度は求められていない事とも関係する。即ち予測や制御を行う「微分方程式」においては、誤差を残したままで途中で演算を打ち切ることには出来ないが、Deep Learning においては、あくまでも未知のデータを適切に分類できるモデルが出来上がることに重点が置かれており、従って「修正可能なパラメータを、可能な範囲で修正しておく」という対応で十分であるということである。

次いで二点目は解析学において、与えられた方程式を解いて解を求めるのはあくまでも「式変形」という手法であり、得られた解は時間的、空間的にユニバーサルなものであって、そこに任意の時間、任意の位置を指定すれば直ちに答えが得られるのに対して、数値解析学では必ずある数値を「初期値」として、そこから使用するアルゴリズムに従って、ある刻み幅で数値を動かしながら徐々に新しい数値を得ていく、というプロセスでの処理になる、と

いう事である。その際に、個々の問題における初期値、刻み幅の「数値」の選び方は通常「統一されたルール」はなく、例えば乱数や「0.01~0.5の範囲の、ある程度小さな値」といった選び方をしてプログラムを実行する場合が多い。

Deep Learning においては、パラメータの初期値に依存せずに良好なモデルが得られるという岡之原らの報告がある<sup>7</sup>一方で、先の岡谷らによれば、ランダムな初期値から開始すると学習が困難であったが2012年のトロント大学によるオートエンコーダを用いたプレトレーニングの実施で初期値を整えとうまく行ったと述べられており、両者を勘案すると適用する問題の性質によって初期値依存性が異なると考えられる。実際に全てのパラメータの初期値を0にすれば、どのような入力データに対しても出力は0となり、例えその後学習が進むにしても、その速度は非常にゆっくりとしたものになることは明らかである。即ち、岡之原らが言うように例え「任意の初期値から学習することが可能」であるにしても、その任意性はある程度のばらつきのある「ランダムネス」の範囲であり、例えば平均0、標準偏差が1であるような正規乱数等により生成されたものを用いることが望ましい。かつ先に見たように、ほとんど同じ2数の差において有効数字が著しく減少してしまい、丸め誤差の一つである桁落ち誤差が大きく発生してしまう可能性があることから、特に入力層のユニットに0 or 1の2値が入力として与えられるようなDeep Learningにおいては、入力層の重みパラメータは正の値をとる乱数とすることが必要である。

三点目は無限ループに対する対応である。特にほとんどの数値計算アルゴリズムにおいては「反復計算」が行われるが、この「反復計算」には用いられるループ変数が単に回数を数えるものである場合と、その値が一定の範囲に入った時にループを抜けるようになっている場合がある。後者の場合は、もしその範囲にループ変数が入らない場合は「無限ループ」に陥ってしまい、いつまでも演算が終わらないということになる。これを防ぐためループ処理の回数を数える変数を内部に入れて置き、必ずある回数でループ処理を打ち切る、という処置を施す必要がある。Deep Learning において使用されるBP法においても、2. で見たようにコスト関数 $C$ の値がある $\varepsilon > 0$ に対して、 $C < \varepsilon$ となったら終了、とするようにプログラムすることが重要である。

そして四点目はDeep Learningにおける「計算時間」の問題である。実際に数値計算アルゴリズムにおいては、開始から終了までの「計算時間が短い」、様々なケースに適用できる「汎用性が高い」、実際に得られる値の「計算精度が高い」等の条件を満たすことが求められることが多い。この点は3. で見たように、2000年以前は現実の問題に多層NNを適用する際にあまりに計算に時間を要することが問題になったが、その後GPUという強力なハードウェアの発展によって、この点は2000年代に入って殆ど問題にならなくなっていることから、Deep Learningにおいては現在はソフトウェア的、即ち数値解析学的な観点からは配慮は必要ないと考える。

---

<sup>7</sup> 岡野原大輔「AI技術の最前線~これからのAIを読み解く先端技術73」日経BP、2022、pp.22-23

## 5. おわりに

1940年代に生み出された最初のコンピュータ ABC マシンの目的が「ガウス消去法による連立1次方程式の解を求めること」であったように、数値解析学はコンピュータの発達とともにこれまで絶え間なく進化を続けてきた。実際に現在さまざまな現象に対して「予測」や「制御」を「解析」的ではなく、「数値」的に解いて問題を解決している状況である。もちろんこれは、だからといって「解析学」が無意味である、あるいはコンピュータがあればそれで良いのである、ということではない。実際に本稿でも述べているように、現象あるいは工学的なソリューション・システムそのものは関数や微分・積分、更には行列などを駆使して立式する必要がある、それを構築するのは人間である。

一方コンピュータの登場後の最大の技術革新と言えるのが近年話題になっている人工知能 (AI) であり、その中核技術である Deep Learning である。この技術は正に現在進行形であり、様々な角度からの試みが行われている状況であるが、特に応用面ではともかく、基礎的な面での考察があまり行われて来なかったと思われる。

本稿ではこの点に鑑み、特に数値解析学の観点からはその問題点への考察を行ったが、今後 Deep Learning を適用するにあたって、何らかの形で本稿が活用されれば幸いである。

## 参考文献

- [1]麻生英樹・安田宗樹・前田新一・岡之原大輔・岡谷貴之・久保陽太郎・ボレガラ ダヌシカ共著、神嶌敏弘編、人工知能学会監修「深層学習」近代科学者,2015年12月
- [2]岡谷貴之「深層学習」講談社, 2017年12月
- [3]岡之原大輔「ディープラーニングを支える技術2～ニューラルネットワーク最大の謎」技術評論社,2022年6月
- [4]立山秀利「ディープラーニング AI はどのように学習し、推論しているのか」日経 BP,2023年6月
- [5]涌井良幸・涌井貞美「ディープラーニングがわかる数学入門」技術評論社,2017年5月
- [6]岡谷貴之「ディープラーニング」映像メディア学会誌 Vol.68,No.6,pp.466-471,(2014)
- [7]麻生英樹「多層ニューラルネットワークによる深層表現の学習」人工知能学会誌,28巻4号,2013年7月
- [8]菊池文雄「数値計算の誤差と精度」丸善出版, 2022年10月
- [9]高倉葉子「数値計算の基礎－解放と誤差－」コロナ社, 2019年9月
- [10]戸川隼人・永坂秀子監修、佐藤次男・中村理一郎著「よくわかる数値計算～アルゴリズムと誤差解析の実際」日刊工業新聞社, 2001年11月
- [11]菊池文雄・齋藤宣一「数値解析の原理－現象の解明をめざして－」岩波オンデマンドブックス, 2021年1月

# Google Colabratry を用いた C 言語学習法の提案

第一工科大学 工学部情報電子システム工学科 松田翔太

## 要旨

本稿では、Google Colaboratory (Colab) を活用した C 言語学習法を提案する。

C 言語は、プログラミングの基礎的な概念、低レイヤの処理を行える柔軟な言語である。また、派生言語である C++ や C# の根幹を成す言語である。そのほかにも、Linux と呼ばれている OS は、C 言語によりシステムが構成されている。よって、C 言語を理解することは、OS などのコンピュータの適切な制御を理解することに繋がる。そのため、C 言語を理解することは、システムの深い理解とプログラミングスキルの向上に大きな意義がある。

しかし、C 言語は、メモリ管理やポインタの概念など、初学者にとって理解が難しい。また、開発環境の構築が容易でないことも学習の障壁となる。そこで、Colab を活用することで、ユーザーは環境構築の手間を省きつつ、実践的な学習経験を得ることが可能となる。Colab は、Jupyter Notebook をベースとしたオンラインで python などのプログラミング言語を実行できるサービスである。Colab のサービスでは、本来 C 言語を使用することは想定されていない。しかし、Colab の実行環境は、Ubuntu と呼ばれる Linux のコンピュータである。そのため、Jupyter Notebook のマジックコマンド、Linux のシステムコマンドを活用することにより、C 言語のプログラミングを実行することができる。これらのコマンドを使うことは、C 言語のコンパイルなどの一連の処理を確認することにもつながる。よって、Colab の利用により、C 言語とその背景にある Linux システムの理解を深めるための新たなアプローチをとる。

**キーワード：**プログラミング教育、C 言語、教育工学、Google colabratry

## 1. はじめに

現代社会では、技術の急速な進歩と共に、情報技術 (IT) の役割が拡大し続けている。自動化、人工知能 (AI)、データサイエンスなど、多様な分野でのコンピュータの応用が日常生活のあらゆる側面に浸透してきている。これらの技術の背後にあるプログラミングスキルの重要性が高まっている。プログラミングは、これらの技術を構築し、発展させるための基礎であり、将来的な社会や技術発展において中心的な役割を担うスキルとなってきている。文部科学省が小学校からのプログラミング教育を推進する [1] など、教育現場でもプログラミングスキルの育成に力が入れている。

このような状況の中、プログラミング言語の選択は、技術者のキャリアや開発プロジェクトの成功に大きく影響する。多くの言語が存在するが、C 言語は、特に基本的なプログラミングの概念や、コンピュータシステムの低レベルの処理を理解するのに適した言語として広く認知されている。C 言語は、C++ や C# といった派生言語の基礎を形成しており、また、Linux オペレーティングシステムをはじめとする多くのシステムが C 言語で開発されている。したがって、C 言語を学ぶことは、プログラミングの基礎を学ぶだけでなく、コンピュータシステムの動作原理や OS の適切な制御方法を理解する上でも重要である。

しかし、C 言語の学習は、初学者にとっていくつかの課題が伴う。特に、メモリ管理やポインタといった概念は、学習の初期段階で理解が難しく、多くの初心者が挫折する原因となっている。また、開発環境の構築が複雑であることも、学習の障壁となっている。これらの問題を解決するために、本稿では、Google Colaboratory（以下、Colab）を用いた C 言語の学習方法を提案する。Colab は、オンラインでプログラミングを学ぶためのクラウドベースの環境を提供し、Jupyter Notebook を活用して対話式のコーディング体験を可能とする。本来 Python 向けのサービスである Colab であるが、実行環境が Linux ベースであることを活かし、マジックコマンドやシステムコマンドを駆使して C 言語のコードをコンパイルし、実行することが可能である。

このアプローチにより、学習者は開発環境の構築に関する複雑な手順を省略でき、より実践的な学習経験を得ることができる。また、Colab を通じて C 言語の学習を行うことで、Linux システムコマンドにも慣れることができ、C 言語とその背景にあるシステムの理解を一層深めることができると考えられる。

## 2. C 言語学習の障壁

C 言語は多くのシステムやアプリケーションの開発において重要な役割を果たしている。そのため、C 言語の文法及び、挙動を理解することは、多くのアプリケーションを作成・保守管理する上において、有効である。しかし、初学者が学習する際にはいくつかの障壁がある。以下に、障壁の例を示す。

### 2.1. ポインタの複雑さ

C 言語の最も強力な特徴の一つがポインタの使用である。ポインタを使うことでメモリの直接操作が可能となる。これは、同時にプログラムのバグやメモリ漏れの原因ともなる。ポインタの概念とその正確な使用方法を理解することは、多くの初学者にとって大きな障壁となる。

### 2.2. メモリ管理

C 言語では、動的メモリの割り当てや解放を開発者が直接管理する必要がある。これには malloc や free といった関数の使用が含まれている。適切なメモリ管理を行わないと、メモリ漏れや無効なメモリアクセスが発生する可能性がある。これらは、ポインタの正しい理解がなければデバッグが困難な場合がある。

### 2.3. 抽象化の欠如

C 言語は、アセンブラや機械語などの低レベルの操作に対する制御を行うことができる。そのため、記述方法が冗長になりやすい。これは、コンピュータにおけるハードウェアの

理解が必要になることを意味する。そのため、C 言語の理解には、言語の理解だけでなく、コンピュータ内部の処理について理解しておく必要がある。

#### 2.4. エラー処理の難しさ

C 言語は、配列を定義した領域外の値を書き換えるなど学習者の意図しない動作に対してエラーが発生しない場合がある。python などの言語であれば、ある程度エラーとして出力する人が多い。そのため、C 言語は、他プログラミング言語よりも、エラーの原因がわかりにくいことがある。

#### 2.5. 開発環境の構築

C 言語の開発環境を構築するには、コンパイラ、エディタ、デバッガなど複数のツールの設定が必要となる。コンパイラについては、GCC (GNU Compiler Collection) や、Microsoft Visual C++、Apple Xcode C++、Vim などがある。エディタについては、Windows 標準のメモ帳 (Notepad) や、サクラエディタ、VScode などがある。様々な選択肢があるため、初学者には、どれを扱えばいいのか、迷うことが多い。また、コンパイラをインストールした後、path を通す (コンピュータで実行する場所を指定する作業) などの処置が必要となる。コンピュータに path を通すだけでなく、エディタにも path を指定する必要がある場合もある。そのため、開発環境を整えるだけでも、多くの障壁がある。

### 3. Google Colaboratory の活用

Google Colaboratory (Colab) は、ブラウザ上で Python プログラミングができる無料のクラウドサービスである。Jupyter Notebook をベースにしており、データ分析や機械学習、教育目的など、幅広い用途で活用されている。Colab の主な特徴は、設定やインストール不要で始められる手軽さ、Google Drive との連携、GPU や TPU などの高性能な計算リソースへのアクセスが無料で可能である点である。そのため、開発環境を特別に準備することなく、学習を始めることができる。しかし、本来 Colab は Python 専用の環境として設計されている。これらの問題を、Jupyter Notebook のマジックコマンドと実行環境である Linux を利用した Linux シェルコマンドを活用することで、C 言語のコードをコンパイルして実行することが可能である。Jupyter Notebook のマジックコマンド、Linux シェルコマンドを使用することで、コードの記述、コンパイル、実行、そして結果の確認を一連の流れとして行うことができる。これにより、特に初学者にとって理解しやすいインタラクティブな学習を体験させることができる。

## 4. C 言語プログラミングの実装方法

本節では、C 言語プログラミングの実装を Google Colaboratory (Colab) で行うための手順について紹介する。

### 4.1. ソースコードの記述と保存

C 言語のソースコードを Colab のノートブック内に記述する。Jupyter Notebook のマジックコマンド `%%writefile` を使用して、セル内に記述したコードをファイルとして保存する。例えば、`hello.c` という名前の C 言語のファイルを作成する場合、Listing1 のように記述する。記述したセルを実行することで、Colab のファイルに `hello.c` ファイルが作成される。

Listing 1 Jupyter Notebook のマジックコマンドを使用した `hello.c` ソースコード

```
1 %%writefile hello.c
2 #include <stdio.h>
3 int main() {
4     printf("Hello, World!\n");
5     return 0;
6 }
```

### 4.2. C 言語コードのコンパイル

保存したソースファイルをコンパイルする。Colab では、Linux のシェルコマンドを実行するためには、`!` をコマンドの前に記述する。C 言語のコンパイルには、GCC が使用できる。ソースコードを記述したセルと別のセルで Linux コマンドを実行する。コマンドの例を Listing2 に示す。Listing2 実行後、実行ファイル `a.out` が作成される。なお、正しくプログラムが記述されていない場合は、エラーを出力する。

Listing 2 Colab でコンパイルするための Linux コマンド

```
1 !gcc hello.c
```

### 4.3. 実行ファイルの実行

コンパイルが成功したら、生成された `a.out` を実行する。セル内に Listing3 を記述し、`"Hello, World!"` というメッセージが出力される。

Listing 3 Colab 内で実行するための Linux コマンド

```
1 !./hello
```

## 5. おわりに

本稿では、Google Colaboratory (Colab) を利用した C 言語の学習法を提案した。C 言語はプログラミングの基礎を理解し、システムの低レベルの処理に対する洞察を深めるために極めて重要な言語である。しかし、その学習には初心者にとって障壁が存在する。特に、メモリ管理やポインタの概念、開発環境の構築が難しい点などが挙げられる。これらの障壁を乗り越えるため、Colab を活用した学習法が有効であることを論じた。

Colab は本来 Python のプログラミング環境として開発されている。その背後にある Linux ベースの環境を活用することで C 言語のコンパイルと実行が可能となる。このアプローチにより、C 言語の開発環境の構築に関する手間を大幅に軽減し、どこからでもアクセス可能なインタラクティブな学習環境を準備することができる。また、Jupyter Notebook のマジックコマンドや Linux のシステムコマンドを用いることで、実践的な学習経験を得ることができる。

しかし、Colab を使用した C 言語プログラミングには、セッションのタイムアウトや計算資源の制限など、考慮すべき点もある。これらの制限を理解し、適切に対処することが重要である。

結論として、Colab を活用した C 言語の学習法は、C 言語の学習障壁を低減し、学習者がより効率的に知識を獲得し、実践的な経験を積むことを支援できると考えられる。

## 参考文献

- [1] 文部科学省、2024 年 3 月 10 日閲覧、小学校プログラミング教育の手引、  
[https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt\\_jogai02-100003171\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf)



# 大正期の鹿児島県における欧米の教育思想・教育方法等の紹介

## —池上弘によるドルトン・プランの紹介活動を中心に—

第一工科大学 共通教育センター 萩原和孝

### 要旨

大正期、教育雑誌『鹿児島教育』においては、まず、ケルシェンシュタイナーの公民教育論を中心に欧米の教育思想・教育方法等の紹介が始まり、1925（大正14）年3月からは「海外教育思潮欄」という特設欄が設けられるようになったが、そこでも公民教育についての関心が強かった。1924（大正13）年6月には「ドルトン案記念号」、同年12月には「米国教育批判号」と銘打たれた特集号が生まれ、それらで中心的に記事を執筆していたのが池上弘であった。彼は1923（大正12）年に渡米し、ドルトン・プランの創始者であるパーカーズトに会い、その後、鹿児島県でのアメリカの教育思想・方法等の紹介活動に大きな役割を果たした。

**キーワード：**大正新教育，公民教育，ドルトン・プラン，パーカーズト，ウォッシュバーン

### 1. はじめに

近年、橋本美保らを中心に大正新教育についての再検討が行われ<sup>1)</sup>、その一つとして、海外の教育思想・方法等についての教育情報受容プロセスについての研究がなされている<sup>2)</sup>。しかし、大正新教育の担い手として知られる木下竹次や小原國芳、吉田惟孝らと縁の深い鹿児島県という地方において、大正期、欧米の教育思想・教育方法等が紹介されていたという事実はあまり知られていないように思われる<sup>3)</sup>。

そこで本稿では、鹿児島県教育会が発行していた教育雑誌『鹿児島教育』において、大正期、どのように欧米の教育思想・教育方法等が紹介されたのかを整理するとともに、その紹介活動の中心人物であった池上弘の動向について、とくに新教育の代表的教育方法の一つであるドルトン・プランの紹介などに、どのように関わっていたのかを見ていきたい。

### 2. 『鹿児島教育』で紹介された欧米の教育思想・教育方法等

『鹿児島教育』の掲載記事から、その記事名などから欧米の教育思想・教育方法・教育事情に関わるものと判断されるものを、大正期に絞って拾い上げてみると、1915、16（大正4、5）年頃より、当時、日本において盛んにその教育論が紹介されていた<sup>4)</sup>ケルシェンシュ

1) 橋本美保・田中智志編著『大正新教育の思想—生命の躍動』（東信堂、2015年）、同編著『大正新教育の実践—交響する自由へ』（東信堂、2021年）など。

2) 橋本美保編著『大正新教育の受容史』東信堂、2018年。

3) 例えば、遠座知恵・角谷亮太郎「ドルトン・プラン情報の普及」（前掲『大正新教育の受容史』）における表5-1「ドルトン・プランを主題とする雑誌記事一覧」には本稿で取り上げる『鹿児島教育』のドルトン・プランに関する特集号の記事は含まれていない。

4) 梅根悟『労作教育新論』成美堂書店、1933（昭和8）年、pp.325-328。

タイナーの公民教育論を中心に、欧米の教育思想等に関する記事が見られるようになる。例えば、山城篤男「モンテズソーリ教育思想（一）」（1915〔大正4〕年6月第260号）、同「ケルシエンシュタイナー作業学校の原理」（1916〔大正5〕年2月第268号）、「米国に於ける初等教育革新の実際」（同年9月第275号）、ケルシエンシュタイナー（金生喜造訳）「公民教育論」（1917〔大正6〕年5月第283号）である。

その後、しばらくは欧米の教育思想等の紹介は途絶えるが、1923（大正12）年8月第358号に大久保幸造「プロジェクト教授について」が掲載されるとともに、「海外教育紹介」、「海外教育資料」などの見出しのついた記事が掲載されるようになり、1925（大正14）年3月第377号からは「英米の新刊図書雑誌」が「手元に到着し、原稿も可成余融<sup>ママ</sup>を示して来た」ため、「各部を設けて系統的に発表すること」なり、「教育制度学校経営、学級編制、教育原理、学習法その他教育に関する一般例へば教育的社会学、宗教々育の如きも断片的でなく続まつたものとして連載する計画」として、「海外教育思潮欄」が正式に開始され<sup>5)</sup>、1926（大正15）年7月まで続いている（表1）。その「海外教育思潮欄」の見出しをみると、その1番目は「公民教育講座」となっており、やはり、公民教育への関心が強かったことがうかがえる。この背景としては1924（大正13）年に「実業補習学校公民科教授要綱並其ノ教授要旨」が公布、実業補習学校において公民科が設置され、「公民教育」への関心が高まっていたことが考えられる。

表1 大正期『鹿児島教育』掲載の「海外教育思潮欄」等の記事一覧

西暦	元号	月	号	見出し・記事名	執筆者・紹介者
1923	大正12年	8	358	〔海外教育紹介〕 米国に於ける「野外出団」の一種紹介	武藤生
1923	大正12年	9	359	〔海外社会教育紹介〕 米国少女義勇団（其一）	稲葉 喬（商船校教諭）
1923	大正12年	10	360	〔海外社会教育資料〕 米国少女義勇団（其二）	県教育調査員
1923	大正12年	11	361	〔海外教育資料〕 少年クラブ	小野平六（教育調査委員）
1923	大正12年	12	362	〔海外教育資料〕 米国に於ける学校児童自治団	武藤安禮（教育調査委員）
1924	大正13年	2	364	〔海外教育資料〕 米国小学校の自治的施設	稲葉 喬（県教育調査員）
1924	大正13年	3	365	〔海外教育資料〕 社会化しつつある学習の実測二つ（ソーシアライズド、レシテイション）	小平六（教育調査員）
1925	大正14年	3	377	〔海外教育思潮欄〕 公民教育講座 一、教育の社会的原理と実際 二、初等教育に於ける公民教育 三、歴史と社会的科目 学習講座 一、教授の原理 二、能力の差異に対する教授の適用 三、学習の型 宗教々育講座 宗教々育	池上 弘（教育主事） 重松正良（海外教育調査委員） 稲葉 喬（海外教育調査委員）  佐久田昌教 重松正良（海外教育調査委員） 小野平六（海外教育調査委員）  松原大八

5) 『鹿児島教育』1925（大正14）年3月第377号、p.49。

表1 大正期『鹿児島教育』掲載の「海外教育思潮欄」等の記事一覧

西暦	元号	月	号	見出し・記事名	執筆者・紹介者
1925	大正 14 年	5	379	〔海外教育思潮欄〕 公民教育講座 一、教育の基礎学科としての社会学 二、教育の社会的原理と実際(その三) 学習講座 教授の原理(その二)  宗教々育講座 宗教々育 校外教育施設講座 夏季野営 実業教育講座 実業の見たる学校	島津秀夫(海外教育調査委員) 池上 弘(教育主事)  佐久田昌教 (海外教育調査委員)  松原大八  小野平六(海外教育調査委員)  全上
1925	大正 14 年	6	380	〔海外教育思潮〕 公民教育講座 教育的社会学(第四回) 児童の生活と自治(第一回) 職業教育講座 職業教育 亜米利加中学校に於ける職業指導  学習講座 教育的心理学(続) 教科課程講座 米国立学校教師の職務準備立案課程	池上 弘 重松正良  武藤安禮(海外教育調査員) シカゴ師範大学 ウイリアム、 ジョンソン 島津秀夫訳  佐久田昌教(海外教育調査員)  庄司秀夫(海外教育調査員)
1925	大正 14 年	7	381	〔海外教育思潮欄〕 公民教育講座 教育的社会学(続き)(第五回) 児童の生活と自治(続き)(第二回) 学習講座 教育的心理学(続き)(第五回) 新案デクロリー・プラン紹介(第一回) 観念教授に於ける二つの方法(第一回) 職業教育講座 複式学生の特徴	海外教育調査委員  池上 弘 重松正良  佐久田昌教 池上 弘 稲葉 喬  武藤安禮
1925	大正 14 年	8	382	〔海外教育思潮〕 公民教育講座 教育的社会学(第五回) 学習講座 新案デクロリー・プラン紹介(第二回) 教育原理(第六回) イー・アール・プレスリツヒ著「中間 学校数学」に就て 農村教育講座 アメリカ田園生活と教育  職業教育講座 職業教育	県教育調査会  池上 弘  池上 弘 池上 弘 吉本象太(教育調査員 二中)  エルウッド、パイ、キュパレー 氏著 池上 弘
1925	大正 14 年	11	385	〔海外思潮欄〕 公民教育講座 児童の生活と自治(続き)(第三回) 学習講座 行為の反応(第六回) 体育講座 体操界の一新思潮 医療的体操	重松正良(第一高女教諭)  佐久田昌教(第二師範)  小野平六(一中教諭) ゾルー著
1925	大正 14 年	12	386	〔海外教育思潮欄〕 公民教育講座 児童の生活と自治(続き)	重松正良(一高女)

表1 大正期『鹿児島教育』掲載の「海外教育思潮欄」等の記事一覧

西暦	元号	月	号	見出し・記事名	執筆者・紹介者
				農村教育講座 デンマーク国民高等学校（其一） 学習講座 教育原理（第七回）形式陶冶 数学講座 中間学校に於ける算術 シカゴ師範大 学数学部。イー・ジー・ヒンクル述	稲葉 喬（商船校） 佐久田昌教（二師） 吉本象太
1926	大正 15 年	1	387	〔海外教育思潮〕 公民教育講座 児童の生活と自治（第六回） 農村教育講座 デンマーク国民高等学校（其の二） 学習講座 教授原理（七）	教育調査会 重松正良（一高女） 稲葉 喬（教育調査委員） 佐久田昌教
1926	大正 15 年	2	388	〔海外教育思潮〕 公民教育講座 児童の生活と自治（七） 体育講座 医療的体操（二）	重松正良（一高女） 小野平六（教育調査員）
1926	大正 15 年	3	389	〔海外教育思潮〕 公民教育講座 児童の生活と自治（第八回） 体育講座 医療的体操	教育調査会 重松正良（教育調査員） 小野平六（教育調査員）
1926	大正 15 年	6	392	〔海外教育思潮〕 公民教育講座 児童の生活と自治（第七回）	重松正良（第一高女）
1926	大正 15 年	7	393	〔海外教育〕 児童の生活と自治（十回）	重松正良（一高女）

しかし、大正期の『鹿児島教育』において、海外の教育思想・教育方法・教育事情の紹介として、目を惹くのは、ドルトン・プランの創始者であるパーカーの講演等を掲載するなどして特集が組まれた「ダルトン案記念号」（1924〔大正 13〕年 6 月第 368 号）と、同じく「米国教育批判号」銘打たれた同年 12 月第 374 号である。この 2 つの号はそれぞれ、紙幅の多くをドルトン・プランの特集や、（おそらく池上弘が一筆者注）「在米視察中直接に学校、学務課、文部省等で貰つて来た書類の一端を教育調査会委員に翻訳」<sup>6)</sup>してもらったアメリカの教育資料等の紹介に充てている。そして、それらの記事の執筆や、資料解説の多くが鹿児島県女子師範学校（後に県教育主事）の池上弘によるものである。

### 3. 池上弘の活動

#### 3.1. 鹿児島県女子師範学校の校風

池上弘<sup>7)</sup>が勤務していた鹿児島県女子師範学校の初代校長は、後に奈良女子師範学校附属小学校での「合科学習」の提唱・実践で有名となる木下竹次であり、二代目校長は、やは

6) 「序説」『鹿児島教育』1924（大正 13）年 12 月第 374 号、p.1。

7) 池上の詳細な経歴は不明だが、筆者の調べた限りでは、鹿児島県女子師範学校教諭として勤務（1917〔大正 6〕年 9 月 28 日から 1924〔大正 13〕年 6 月 25 日まで）する以前は、鹿児島県師範学校の教諭であり、鹿児島県女子師範学校を辞めた後には鹿児島県の教育主事、その後、沖縄県女子師範学校長および沖縄県立高等女学校長となっている。参考資料：『大正元年 鹿児島県学事関係職員録』（鹿児島県教育会、1912 年）、『大

り後にドルトン・プランの日本への紹介者の一人となり、熊本県立第一高等女学校においてその実践を行った吉田惟孝であった。同校については「女師二高女の学風は実に先生（木下竹次—引用者注）に依つてその根柢が培はれたのである。当時の欧米教育最新の智識を取入れて清新澁刺たる自学主義の学風が全国に魁けして樹立された」とされ、「創立の初より器械、標本、参考書等の施設を整備して自学主義教育の徹底に努め図書室の利用、自習時間の特設等」を行うなど、鹿児島県においては「欧米教育最新の智識」を取り入れる「自学主義の学風」として知られていた<sup>8)</sup>。

ドルトン・プランの紹介者・実践者として知られる吉田惟孝は、1910（明治43）年3月31日から教諭として、1917（大正6）年7月6日からは校長として鹿児島県女子師範学校に勤務し、1920（大正9）年4月30日に同校を退転している<sup>9)</sup>。一方、池上は1917（大正6）年9月28日から1924（大正13）年6月25日まで同校に勤務していたことから<sup>10)</sup>、池上は約2年半、吉田校長のもとで働いていたことになる。吉田と池上の関係がその後も続いていたかどうかは不明であるが、吉田が1922（大正11）年にパーカーストの運営する児童大学校（Children's University School）を訪れ、同年および翌年にドルトン・プランに関する書籍を出版したその活動<sup>11)</sup>は、その後の池上自身の渡米やパーカーストとの面会の動機となったり、女子師範学校でドルトン・プランの一部を導入したりすることに大いに影響を与えたと思われる<sup>12)</sup>。

そして、池上は、後に「第三代大田校長時代には教頭池上氏が渡米ダルトンプランの研究を遂げて帰朝し施設に講演に大いに自学研究の学風を洗練教化されたのであった。」と評されることになる<sup>13)</sup>。

---

正五年 鹿児島県学事関係職員録』（鹿児島県教育会、1916年）、『創立二十周年記念誌』（鹿児島県女子師範学校・鹿児島県立第二高等女学校・鹿児島県女師附属小学校編集発行、1930〔昭和5〕年）、『官報』（第3552号〔大正13年6月26日〕、第4137号〔大正15年6月9日〕）、『鹿児島教育』（1925〔大正14〕年3月号第377号、1926〔大正15〕年3月号第389号）。

- 8) 『記念誌』鹿児島県女子師範学校・鹿児島県立第二高等女学校・鹿児島県女子師範学校附属小学校発行、1941（昭和16）年、p.60。「二高女」とは鹿児島県立第二高等女学校のことであり、鹿児島県女子師範学校に併置され、木下は両校の校長を務めた。

鹿児島県女子師範学校についての概要は、吉井和子・有馬恵子・森田恭子「鹿児島県女子教育史の研究Ⅳ－鹿児島県女子師範学校の変遷－」（鹿児島女子短期大学附属南九州地域科学研究所報第12号、1995年）、新福祐子『女子師範学校の全容』（家政教育社、2000年）、鹿児島大学教育学部附属小学校『附属小の百年』（創立百周年記念事業実行委員会編集・発行、1978年）などを参照のこと。

- 9) 二宮彦助等編『鹿児島県紳士録附淑女録：大典記念』鹿児島県紳士録編纂事務所、1916（大正5）年、p.50。前掲『創立二十周年記念誌』、p.63。

- 10) 前掲『創立二十周年記念誌』、p.66。

- 11) 吉良倭『大正自由教育とドルトン・プラン』福村出版、p.36。

- 12) 池上は渡米時にパーカーストに対して「澤柳博士と云へは同行の中には小西博士も長田文学士も加つて居た筈だ、博士は自分の恩師で長田氏は友人だ」と説明し、日本におけるドルトン・プラン研究の発達の嚆矢として吉田惟孝の「ドルトン・プランの研究」を見せたという（「児童大学参観記（三）」『鹿児島教育』1924（大正13）年6月号第368号、p.24）。この言によれば、池上の恩師は、1922（大正11）年にパーカーストを訪ねた小西重直で、長田新は友人だったことになる。吉田だけでなく、そのような人的つながりも池田の活動に影響していると考えられる。

- 13) 前掲『記念誌』、p.61。

### 3.2. 渡米とパーカーズト、ウォッシュバーンらとの面会

池上の「児童大学参観記（三）」（『鹿児島教育』1924（大正13）年6月第368号）によると、池上は1923（大正12）年に渡米し<sup>14)</sup>、サンフランシスコに到着後、カリフォルニア州の師範大学附属小学校を訪れ、面会したパーク校長から「当校の主席訓導ウワバツシユはシカゴ<sup>ママ</sup>の郊外ウ井ネットカ市の市視学を務め成功して居る」からと、参観を奨められ、シカゴ滞在中に「ウワバツシユを訪ふた」という<sup>15)</sup>。その文脈から、池上はサンフランシスコ州立師範学校校長のパーク（Frederic Lister Burk）を訪れ、その後、ウィネトカ・プランを提唱したウォッシュバーン（Carleton W. Washburne）を訪問したと考えられる。ウィネトカ・プランが日本で紹介され始めたのは1925（大正14）年であり、早い時期から同プランを紹介していた大伴茂がウィネトカ公立学校を訪問したのは1924（大正13）年である<sup>16)</sup>。つまり、池上はそれより以前に、ウォッシュバーンを訪れていたことになる。

池上がドルトン・プランを提唱するパーカーズトの運営する児童大学校を訪れたのは、同年3月15日であったが、「金曜日が参観日だから明日来いとすげなく辞られた」ため、翌16日訪問したところ「文部留学生の森君と外に米婦人四名の参観者」がいて、パーカーズトの助手に案内されて、数学、国語、歴史、文学、地理、美術、物理化学の各研究室、音楽室、三年生のクラスを見て回ったようである<sup>17)</sup>。

さらにその一週間後に、再び同校を訪れ、パーカーズトと面会し、その様子が同参観記に著されているが、ドルトン・プランについてのやり取りについては、以下のように書かれている。

話頭一転プランの中心に這入って自由の意味を糺せば堅実な思想を抱いて居る「それではコロンビヤ大学教授チュウ井一博士の意見と相通して居ないか」と切り込めば（括弧欠け一引用者注）博士の思想を受けて居るところではない、私の指導者であります」と綺麗に自白する（中略）女史は静かに独自と協同の遍すべからざるを説き現在は独自を午前に協同を午後に配当しその割合も四と一にして居るが目下研究中で確定したものではない、更に第二の、問題の質について現在は教師の自作にして居るが、貴見の通り決して理想ではない」と極めて穏やかに出られたので聊かアツケに取られ振りかけた刀の収めように困まつた、更に第三として問題が学年に対して容易に過ることなきや」と畳み掛けて見たが女史に「自分にはさように思はぬ」と簡単に答へた丈だつたが、今尚疑問として残つて居つたがその後多少自分も経験を嘗め将に熊本一高女の学習の批判の中に問題の難澁に過くるとのことに思ひ合はせ、聊か感ずるところがあつた<sup>18)</sup>

パーカーズトをしてデューイ（John Dewey）が自分の指導者だという回答を得た池上

14) 『鹿児島教育』には「昨夏女師教頭池上弘氏が渡米」（「巻頭の言」『鹿児島教育』1924〔大正13〕年6月第368号、p.1）との記載があるが、池上はパーカーズトの児童大学校を訪れたのは「昨年の三月十五日であつた」と書いており（同、p.21）、池上が渡米した月についての記述には齟齬が見られる。しかし、1923（大正12）年にアメリカに滞在していたことは確かなようである。

15) 池上弘「児童大学参観記（三）」『鹿児島教育』1924（大正13）年6月第368号、p.25。

16) 宮野尚「ウィネトカ・プラン情報の普及」前掲『大正新教育の受容史』、p.174。

17) 前掲「児童大学参観記（三）」、pp.22-23。

18) 同上、pp.24-25。

は、彼女がドルトン・プランについて、「目下研究中で確定したものではない」、「決して理想ではない」と答えたことや、前述のサンフランシスコ州立師範学校校長のバークが「ダルトン・プランは自分の創独た、パ女史は以前本校で研究すること半歳であつたプランは本校の経営に学ふところがあつたのだとて鼻息頗る荒く語つたのに対して、「女史は『デアーク氏には色々の世話になつたことがあります』とて多くを語らなかつた」態度を見て、「バーク氏の剛慢と女史の嫌遜とを相対照するとき自分は女史の人格に対してその方案以上に敬意を禁することが出来なかつた」としている。そして、バークとウォッシュバーンとパーカーの三者を比較して、「バーク氏の言明せるように女史は同大学附属の学習に暗示を得ることが少なくなかつたのであらう」としつつ、パーカーについて「プランの思想と云ひ方案と云ひ三者中最も完整せるものたと思ふた」と述べ、「個人主義自由主義の思想と実際はバーク氏や直接師事したモンテツソリーの経営更に最近の思潮たる教育の社会化をも取入れ、モンテツソリーを学んで之に偏せず、バークに捕はれず、チュ井一を襲ふて而も之に執せず、女史一流の大膽と独創は今日世界に推賞される所以」だと讃えている。<sup>19)</sup>

なお、池上は以下のようにデュイと会つたことを記述しているが、その際の日付や詳細なやり取りまでは不明である。

(池上がパーカーに対して一引用者注)

『二三日前のことコロンボヤ大学の教授チュ井一博士に遭つたときも是非児童大学を参観せよと奨められたからプランについて二個の質問をすると、博士はさすがに学者丈あつて「さう云ふ実際問題は自分には経験がないからとも答えかねる、パ女史と議論をして見よ」と、学者らしく慎重に避けられた、それで実に今日その問題を携へて貴見を伺ひに来たのだ』と云へば(後略)<sup>20)</sup>

コロンボヤ大学でデユキ博士に遭つたときも是非倫理学校は参観せよと勧められたものだから予定よりも一日丈増した訳だつた。<sup>21)</sup>

### 3.3. 「ダルトン案記念号」

池上が帰国して翌1924(大正13)年、今度は成城小学校と大阪毎日新聞社の共同による招聘に応じたパーカーが来日し<sup>22)</sup>、鹿児島でも5月1日に第一師範学校講堂にて講演を行っている。その講演の内容を掲載した『鹿児島教育』は「ダルトン案記念号」と銘打たれ、ドルトン・プランについての特集が組まれ、前述の「児童大学参観記」をはじめ、6本の記事を池上が執筆している(表2)。

池上以外の記事としては、鹿児島県内の教員によるドルトン・プランへの評論、鹿屋中学校におけるドルトン・プランを参考にしたと思われる個別学習実施案の概要、『富山教育』

19) 同上、pp.25-26。

20) 同上、p.24。

21) 池上弘「米国に只一の倫理学校」『鹿児島教育』1924(大正13)年12月第374号、p.13。

22) パーカーの来日については、前掲、吉良侯『大正自由教育とドルトン・プラン』などを参照のこと。

表2 『鹿児島教育』1924（大正13）年6月第368号掲載ドルトン・プラン関係記事一覧

記事名	執筆者
巻頭の辞	
パーカスト女史講演会記録	パーカスト女史講演
(評論から実施まで) ダルトン案に対する吾等の態度 ダルトン、プランを何う観るか(一) ダルトン、プランの思想の由来(二) 児童大学参観記(三) ダルトン、プランの重心(四) プランの批評点は何所か(五) ダルトン、プランは何う加味したか(六)	第一師範学校 池上弘 女師 池上弘 女師 池上弘 女師 池上弘 女師 池上弘 女師 池上弘 女師
(評論) ダルトン案に就て ダルトン案に就て 人間の生涯を貫く力 ダルトン案に対する卑見 ダルトン案に対する愚見 ダルトン案に就て ダルトン案を聴いて	吉田清治 二師 重松正良 一高女 安藤愛之助 女師 山口生 川内校 岩元周吉 喜入校 増田正之助 中郡校 山下のぶ子
(実施案) ダルトン案と地歴科 ダルトン案と漢文科	岩井勇 鹿屋中学 西田季春 鹿屋中学
(他府県に於けるドルトン案の実施について) (実施案) 富山県とドルトン案 自発教育概要 ドルトンプラン実施概要 実験室に於ける所感と細目の実際 <sup>マ</sup> 教学実験室の実際と感想(注一「数学」の誤植) 美術実験室の実際と所感 地理実験室の感想と細目 歴史実験室に於ける感想と指導案 理科教育に対する感想及び研究細目の実際	富山教育四月号パーカスト女史歓迎号より抜粋 福井県三国尋常高等小学校 長崎県壱岐郡盈科尋高校 松尾訓導 国語実験室 山本訓導 殿川熊多 訓導 竹藤訓導 地理実験室 松本操 訓導 品川鉄摩 理科実験室内
(実施状況) ダルトン案実施の熊本第一高女に於ける女史 福岡県に於けるドルトン案 ダルトン行脚	大毎新聞切抜 全 赤阪清七 大毎記者
ドルトン案研究参考図書類	



の記事からの抜粋、福井県三國尋常高等小学校や長崎県壱岐郡盈科尋常高等小学校から寄贈されたドルトン・プラン実施の実際についての原稿が掲載されている。

### 3.4. ドルトン・プランの部分的導入

池上は、従来日本人は「外国の思潮や方法とさへ云へば直くそのまゝ器械的に模倣して現在の事情に合はぬことを発見しては、之を捨てること弊履の如し」で、教育者はすぐ「思想も方案も結構だが之を実行する施設がないから仕様がな<sup>い</sup>」というが「そんなものを採つて居つては日本の教育は何時になつたら改善が出来るたらう」と批判し、「教育の思想方案が教育上合理的と認めたならば相応に実行して見ることだ、工夫を施して見ることだ、但綿密に考慮することを怠つてはならぬ、粗漏であつてもならぬ」として<sup>23)</sup>、女子師範学校でドルトン・プランを部分的に導入している。

ただし、ドルトン・プランをそのまま導入しようとする「教師の負担の激増で失敗に終<sup>る</sup>ことは決まつて居る」から、「独自学習の日を一学年一週一日とし他は協<sup>会</sup>学習とした」という<sup>24)</sup>。そして、以下のような例を示している<sup>25)</sup>。おそらく、例えば女子師範学校の本科4年生であれば、毎週月曜日が独自学習の日であり、その対象となる科目が「物理」、「国語」、「教育」であることを意味しているものと思われる。

師範	本科四年	月	物理	国語	教育
全	本科三年	火	物理	国語	教育
全	本科二年	水	化学	国語	教育
全	本科一年	木		国語	
全	二部甲	木	物理	国語	教育
全	全	金			教育
	二部乙	金		国語	教育
全	全	土	物理		教育

独自学習するための「研究室」については、「二十一学級の生徒に対して特別室、普通教室合せて二十二室では遣りきれないのである、それで生徒の図書室と教員図書室と物理化学教室実験室外に普通教室をこれに宛て」たという<sup>26)</sup>。そして、独自学習の方法については、次のように述べている。

学習の材料は何うして提出するかと云ふに教科書参考書から問題を作製して一週間分を与えて置く、予め問題の意味は教師から説明を加へて置くのでその日が来ると直ぐ欲する四科目の何れからでも始めるのである、解答はノートに記述してその日の放課後までに提出することにして居る。放課後までに提出すると云ふことは家庭作業に任かして過重になることを妨ぐためである、その日の放課後までに提出すると云ふことは生徒の過重を妨ぐと云ふ外に教師の方も協同学

23) 池上弘「ダルトンプランを何う観るか(一)」『鹿兒島教育』1924(大正13)年6月第368号、pp.18-19。

24) 池上弘「ダルトン、プランを何う加味したか(六)」『鹿兒島教育』1924(大正13)年6月第368号、pp.38-39。

25) 同上、p.39。

26) 同上、p.39。

習のときまてに検閲する余融がなければならぬからである（下線引用者。「で」となるべきところが「て」となっているところは原文のママ。）<sup>27)</sup>

教師はあらかじめ作成していた1週間分の問題を学生たちに与えておく。そして、毎週1回の独自学習の日に、学生たちがその対象科目となっている4科目<sup>28)</sup>のうちから、自分の自由な順番で問題に取り組み、解答をノートに書いて、その日の放課後までに提出するという方法を取っている。

このようなドルトン・プランの方法論の一部を導入した結果、「可成り効果を現はして来たのである、師範全部について四科目丈に限って実施したところがその他の学科目でも自学の傾向が増して来たこと、その案を実施して居らぬ高女までが自学の傾向に充ちて来たことは何人と云つても良い影響と云はねはならぬ」と、女子師範学校だけでなく、併設していた第二高等女学校の生徒まで自学の傾向が出てきたと述べている<sup>29)</sup>。

### 3.5. 「米国教育批判号」

前述のように、「ドルトン案記念号」が出された半年後、1924（大正13）年12月には「米国教育批判号」と銘打たれた第374号が発行されており、おそらく池上が渡米中に収集したものであろう教育資料等を、鹿児島県の教育調査会委員が翻訳した記事が掲載されている（表3）。それぞれの資料の前には、池上がその資料についての解説や渡米中のエピソードなどを書いている。

## 4. ドルトン・プランへの反応

これまで述べてきたような池上を中心とした海外教育思想・方法等の紹介について、鹿児島県内の教員の反応はどのようなものだったのであろうか。「海外教育思潮欄」や「米国教育批判号」への直接の反応は見いだせていないが、「ドルトン案記念号」には県内教員のドルトン・プランへの反応を見ることができる。

多くは池上のようにドルトン・プランの全面的な導入は現実的ではないとしつつ、「我国教育の行詰まれる状態を挽回する、確な原理が一それは個性の進展と独自研究に依る創造の高調一此のドルトン案の中にも含まれて居ることを認める（中略）最も穩健だと信ずる試みを、特に本校に於て（附属としても相当、適切な試みあり）試みつゝある」<sup>30)</sup>、「我国の

27) 同上、p.39。

28) 前述の池上が示した例では各学年、1日に1～3科目の設定となっており、記述に齟齬が見られる。ここでいう4科目とは鹿児島県女子師範学校全体で独自学習の対象となっている科目が、物理・化学・国語・教育の4科目という意味とも取れるし、池上は別の箇所でも修身科についても、問題を作成し、学生に自分たちで解かせた、と書いているため（同上、pp.40-43）、各学年、前述に例示された科目に修身を加えて4科目という意味とも取れる。詳細は不明である。

29) 前掲「ドルトン・プランを何う加味したか（六）」、pp.39-40。

30) 鹿児島県第一師範学校「ドルトン案に対する吾等の態度」『鹿児島教育』1924（大正13）年6月第368号、p.17。

表3 『鹿児島教育』1924（大正13）年12月第374号掲載のドルトン・プラン関係記事一覧

記事名	執筆者
序説	
米国学制の批判	池上弘
分科制度の批判	池上弘
米国視学官会議を評す	池上弘
米国に只一つの倫理学校	池上弘
教育研究課程（教育倫理教化学校）	重松正良 教育調査会委員
倫理教化学校の特殊目的（アドラー氏の講演）	重松正良 教育調査会委員
中等学校の徳育	池上弘
国民教育協会委員の報告	重松正良 教育調査会委員
米国教育の重心	池上弘
米国小学校の自治的施設概況	稲葉喬 教育調査委員
リンカーン、スクール	池上弘
第一章 リンカーンスクール	稲葉喬 教育会調査委員
倫理教化学校の自治訓練	池上弘
第二章 倫理教化学校	稲葉喬
黒人小学校の自治	池上弘
第三章 レイモンド小学校	
第四章 法律と学校生徒	
閑静なヒルサイド中間学校	池上弘
第五章 ヒルサイドジュニアハイスクール	
加州第一の中学校	池上弘
オークランドハイスクールの学生組合憲法	稲葉喬 教育調査委員
社交に慣れたモンクレアーの中学生	池上弘
モンクレアハイスクール	稲葉喬 教育調査委員
クリントン中学生の美しい協力	池上弘
クリント中学校校友会	池上弘
学校自治について警戒すべきこと	池上弘
学校に於ける自治	重松正良 教育調査会委員
社会的学習法に就いて	池上弘
社会的学習法	小野平六 教育調査委員
米国中学校の一例	池上弘
オークランド中学校一覧表	小野平六 教育調査委員
ホレーズ、マン高等女学校一覧	小野平六
見たまゝの米国宗教界	池上弘
米国宗教界の近況	松原大八
宗教界に於ける紐育の諸星	松原大八
基督教会をして戦争を駆逐せしめよ	松原大八
無戦世界実現の努力	松原大八
体育の国	池上弘
シカゴ市小学校に於ける体育科の企図目的－シカゴ市学務局	島津秀夫
紐育市小学校体操科要目（七年級器具体操）紐育市学務課編	島津秀夫

教育は改造の時機である、従来の教師本位所謂他律的教育を排して飽迄も児童の本性に徹見し自律的教育に移らねばならぬ、此機会に於てダルトンプランは一の刺戟剤ではあるまいか吾々<sup>ママ</sup>はとても既に此案の精神の下に教育法を講じて居る<sup>31)</sup>と、日本における教育の行き詰まりを打破し、従来の教師本位の「他律的教育」から児童中心の「自律的教育」へ移行する契機として捉え、ドルトン・プランの考え方を自分たちの学校にあった形で取り入れようとしていた。

一方で、パーカーストの考える「自由」の概念や方法論については、批判も見られる。例えば、山下のぶ子（所属不明）は、「私も大きな期待を以てヘレン、パーカスト女史を迎えた者の一人」だったが、「ダルトン案の原理なるものには甚だ不満を感じざるを得なかつた」と述べる<sup>32)</sup>。山下はパーカーストの「自由」のとらえ方に不満を持ち、「何故に自由と放縦を区別しなければならないのでせうか。何故に個性生活と社会生活とをあんなに区別しなければならないのでせうか。」と疑問を示し、「女史の認めた児童の自由と云ふものが大人の経験でしかなく、児童がよい物と悪い物の区別なく切り散らすと云ふ心を放縦と名づけた点に私は反旗を翻す」、「女史は自由と協働と作用とを児童の経験に依つて自得せしめようとしてゐますがそれが大人の経験に基いた自由と協働と作用の詰込みである」、「故にダルトン教育案が自由教育と云ふ名前のやはり不自由教育でしかなかつた事を知つた時、恐らく私一人ではなく不満を感じたお方があつた事と存じます。」と痛烈に批判する<sup>33)</sup>。山下は、従来の考え方は、「欲望」を「純粹欲望」と「自然欲望」に分け、「前者を所謂自由と言ひ後者を放縦」と呼ぶ「二元的欲望観」だつたと指摘し、児童にもその区別をさせ、「放縦」を抑圧させようとしているが、それは「子供の純粹欲望の欲する処ではなくして立派に大人の自然欲望の策略でしかない」と述べている<sup>34)</sup>。

つまり、山下は、結局、大人の許容できる範囲内のものを「自由」と呼び、大人が許容できないものを「放縦」と呼んでいるだけではないか、結局、子どもに大人の「分別」を押し付けているだけではないかというのである。ゆえに「女史の自由教育主張が分別の世界へ児童を導く事を目的」とした「自由教育と云ふ名前のやはり不自由教育でしかなかつた」というのである<sup>35)</sup>。

同じように鹿児島県第一師範学校（執筆者不明）は、以下のように、ドルトン・プランは「過程の自由」のみが与えられているだけで、「真の自由」ではなく、結局「不自由な学習」とであると批判している。

許されたるは唯方法の自由のみではないか。過程の自由のみではないか。教師の与ふる指導案に示された事柄を学習する上に於てのみの自由ではないか。真の自由は斯かる程度のものではないと思ふ。真の自由は、自己の立てた目的、理想を達成する為に自己の選択する方法、行動であ

31) 増田正之助（中郡校）「ダルトン案に就て」同上『鹿児島教育』、p.52。

32) 山下のぶ子「ダルトン案を聴いて」『鹿児島教育』1924（大正13）年6月第368号、p.53。

33) 同上、pp.54-55。

34) 同上、p.55。

35) 同上、pp.54-55。

る。ダルトン案は如何に巧に説明しても与へられたる結果を予想しての自由な学習である。与へられた結果を出発点に於ての学習である。之を極言すれば教師の命令の遂行である。真に本質的な学習動機に基礎づけられた自由な学習ではなくて、与へられた結果に、与へられた時間内に到達せなければならぬと言ふ不自由な学習である。総じて与へられた問題の解決をより完全に、より早く遂行せんことを目的とする教育は全個性の活動を著しく制限し滅殺するものであると思ふ。之を要するにダルトン案は自由を標榜し、却つて自由の為めに毒せられて居ると言はなければなるまいと思ふ。<sup>36)</sup>

そして、「真に特能を発揮」させるためには「更に進んで、自己に適する材料自己自ら選択させ（無論より広き経験の所有者である教師が背景となるが）、自己自らの方法に依つて遂行することに依つてのみ達成せらるゝと思ふ。」と述べている<sup>37)</sup>。

## 5. おわりに

以上、大正期の鹿児島県における欧米の教育思想・教育方法等の紹介について、その紹介活動に大きな役割を果たした池上弘の動向を中心に整理してきた。その活動は当時の時流に乗ったものと言えるが、小西重直、長田新、吉田惟孝が1922（大正11）年にアメリカでパーカーストを訪れてから、わずか1年後、池上が渡米してパーカースト、ウォッシュバーン、デューイらと直接会うなど、かなり先駆的かつ積極的な活動だったと言える。

ただし、いくつかの課題が残されている。一つは、池上が渡米する際の名目は何だったのか、また、その費用はどこから捻出されていたのか、ということである。池上は渡米中、複数の学校を訪問するなど比較的長期間、アメリカに滞在しており、その間、かなりの費用もかかっていると思われる。おそらく個人的な旅行ではなく、県などの公的機関による派遣事業か、補助等を受けての渡米だったと考えられるが、明らかではない。

もう一つは、池上らによって紹介された欧米の教育思想・方法等が、当時およびその後の鹿児島県における教育界や、個々の教員らにどの程度、影響を与えたのか、ということである。本稿では、いくつかの学校がドルトン・プランの教育思想・方法等に影響を受け、教育方法の改善を試みたことを明らかにしたが、それらが実験的な試みに終わったのか、それとも、何らかの形で継続されていったのかは不明である。

これらは今後の課題としたい。

〔註〕 史料引用にあたり、漢字は旧字体を常用漢字・新字体に改めた。

36) 鹿児島県第一師範学校「ダルトン案に対する吾等の態度」『鹿児島教育』1924（大正13）年6月第368号、p.9。

37) 同上、p.10。

#### 執筆者一覧（執筆順）

福永 知哉	第一工科大学 共通教育センター 教授
倉元 賢一	第一工科大学 共通教育センター 准教授
吉村 耕一	第一幼児教育短期大学 幼児教育科 講師
當金 一郎	第一工科大学 工学部 情報電子システム工学科 教授
松田 翔太	第一工科大学 工学部 情報電子システム工学科 助教
萩原 和孝	第一工科大学 共通教育センター 講師

#### 紀要編集委員一覧

福永 知哉	第一工科大学 共通教育センター 教授／共通教育センター長（紀要編集委員長）
永田 正明	第一工科大学 共通教育センター 教授
大山 良一	第一工科大学 共通教育センター 准教授
竹下 俊一	第一工科大学 共通教育センター 准教授
倉元 賢一	第一工科大学 共通教育センター 准教授
萩原 和孝	第一工科大学 共通教育センター 講師／紀要編集事務局長
森田 大輔	第一工科大学 共通教育センター 助教

---

第一工科大学教職課程研究紀要 2024年3月号（通巻9号）

2024年3月15日 発行

編集・発行 第一工科大学教職課程教育研究会  
鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2

---