

# ニュートン力学概念の把握をめざす AR 教材の開発

佐藤実\*1

Email: minoru@tokai-u.jp

\*1: 東海大学理学部基礎教育研究室

◎Key Words ニュートン力学概念, 概念図, AR

## 1. 概要

物理教育では、さまざまな場面で図が使われる。教授者は、これらの図によって物理学の概念を伝えようと意図するが、学習者が図の意味を理解していなければ、概念を把握することはできない。

物理教育研究の知見によれば、講義形式の物理学の授業を受けた学生の概念把握は、世界的に共通して、あまりよくない<sup>(1)</sup>。その原因のひとつとして、教授者が提示する図の意味を学習者が理解していない事を挙げることができると思われる。

そこで、物理教育で用いられる図の意味を学習者が捕らえやすくなることを目的として、学習者に抽象的な概念図を描かせることでニュートン力学の概念獲得を目指す授業の試みを行った。とくに、AR を用いることで、現実の世界と物理概念の結びつきが理解しやすくなることを期待できる。目には見えない速度や加速度をリアルタイムに可視化することで、概念図の意味が理解でき、ニュートン力学の概念獲得が容易になるものと思われる。

本稿では、まず概念図を簡単に定義し、ニュートン力学概念とその調査について概観する。これらを足がかりに、学習者にニュートン力学概念を身につけさせることを目的とした AR 教材について紹介し、最後に今後について展望する。

## 2. 概念図

物理教育では、状況の記述や原理の説明のために、しばしば線画<sup>(2)</sup>が用いられる。これらの線画は、それが何を意味しているかについてとくに説明されることなく<sup>(3)</sup>、教科書や板書に登場することが多い。挿絵であれば問題はないだろうが、内容と深く関係する概念図の場合、学習者の理解に影響する問題となりうる。

これらの、物理学的な文脈において説明などに使われている線画は、抽象的で科学的な図だと考えることができる。線画は、図と絵に分類することができる。本稿では、図を、抽象的で、語彙や文法に相当する要素を持つものとし、絵を、具象的で、解釈が見た者に委ねられているものとする<sup>(4)</sup>。例えば、物理学的な概念をまだ持たない初学者などは、抽象的で科学的な図を、具象的で日常的な文脈の絵として理解している可能性がある。そこで本稿では、物理学の文脈で用いられる、抽象的で、語彙や文法に相当する要素を持つ図を、概念図と呼ぶことにする。

図を絵として解釈できてしまう、という視覚的表現の特徴から、言葉を用いる言語的表現と、図を用いる視覚的表現とでは、教授者が学習者の理解度を推し量る際に、違いが出ると思われる。言語的表現では、教授者と学習者は、互いに語彙と文法を共有しているため、学習者が語る内容から教授者がその学習者の理解度を推し量ることは比較的容易である<sup>(5)</sup>。一方、視覚的表現では、学習者が見よう見まねで描いた絵であっても、教授者が概念図として受け取ってしまうことも考えられる。学習者が描いたものから教授者が理解度を推し量ることは困難であることが予想される。

## 3. ニュートン力学概念と概念図

ニュートン力学の概念獲得が難しいということは、物理教育の研究者や物理の教育者には、よく知られている。そのため、ニュートン力学概念の獲得についての調査や、概念獲得のための教育方法についての検討が行われ、教育方法の評価を目的とした概念テストが使われている<sup>(6)</sup>。

ニュートン力学概念の獲得に関わる要素のひとつに、見えない物理量の可視化がある。例えば、物理量を可視化するために、力や運動量などのベクトルを、矢印で表す図が使われる。物理量を可視化した図は、高校物理をはじめ、ほとんどの力学の教科書において広く使われている。また、海外のいくつかの教科書では、物体に作用する力を表すための図 (body free diagram) の描き方について、丁寧に解説しているものがある<sup>(7)</sup>。

教科書などで使われている、物理量を可視化した図は、視覚的な表現でありながら、その意味するところは言語的といえる。しかし、視覚的な表現なので、図を絵として解釈しても、そこから某かの意味や意図を読み取ることができてしまう。

一方、図は言語的な意味をもつため、語彙と文法を理解していなければ、その内容を正しく理解することはできない。例えば、ベクトルの概念を持たない者がベクトルの描かれた図を見たとき、図に描かれている矢印から、指している向きがわかったからといって、作者が図で表現しようとしたベクトルの意味を理解したとはいえない。

もし、ニュートン力学の教科書で使われている概念図の意味を理解するために、その図が意味しているニュートン力学の概念を必要とするならば、初学者の学習は困難になることが予想できる。そうだとすると、

ニュートン力学概念の把握が不十分な学習者は概念図の意味を理解できず、したがって、ニュートン力学概念も把握できない、という、悪循環に陥る可能性がある。

ところが、概念図は視覚的な表現であり、絵のように解釈することもできるため、見ただけでわかったようなつもりになってしまう。そのため、教授者は学習者が理解していないことに気が付きにくい<sup>(8)</sup>。このことが、学習者がニュートン力学概念を把握することを難しくしている一因となっている可能性もある。

#### 4. 概念図調査

ニュートン力学概念と概念図の関連についての調査結果を紹介する。調査では、ニュートン力学概念を獲得している者は抽象的な概念図を描くことができる、との仮説が立てられた。この仮説を検証するために、ニュートン力学概念調査と同時に、「つりあい」を描かせる調査がおこなわれた。

調査は、2011年度の春学期に実施され、調査対象者は、中学理科の教員資格取得に必要なクラスを履修する大学3年生とした。調査対象者数は16だった。

ニュートン力学概念調査には、FCI<sup>(9)</sup>が用いられた。FCIを採用した理由は、ニュートン力学概念調査によく使われていること、調査時間が30分間と短く被験者の負担が少ないことである。

調査の際、被験者は「つりあいを描け」とだけ指示された。日本語では、「つりあい」という言葉には、日常的に使われる均衡がとれているという意味と、力学的な力のつり合いの意味がある。調査では、あえてこれらの区別をせずに問いかせられ、ニュートン力学概念をもつ被験者は抽象的な図を描き、概念をもたない被験者は具象的な絵を描くことが予測された。

被験者が描いた図を分類した結果、「つりあい」に対して、抽象的な図を描いた被験者が5人、具象的な絵を描いた被験者が9人、両方とも描いた被験者が2人だった。ここで、抽象的な図を、力学概念を含む見えない要素が表現されている描画、また、具象的な絵を、目に見える物を表現した描画、と定義した。この定義に従うと、力のベクトルが描かれていれば抽象的な図と分類され、天秤が描かれていれば具象的な絵として分類される。

被験者を、抽象的な図を描いたグループと具象的な絵を描いたグループに分け、それぞれのFCIの平均点を比較した。図と絵の両方を描いた被験者2人は、対象から外した。

その結果、FCIの平均点は、抽象的な図を描いたグループの方が、具象的な絵を描いたグループよりも、有意(5%)に高かった。このことから、「つりあいを描け」とだけ指示されたときに抽象的な図を描く学習者は、ニュートン力学概念を持っている可能性が高いことがわかった。

#### 5. ニュートン力学概念を身につけさせることを目的としたAR教材

抽象的な図を描く学習者がニュートン力学概念を持っているのならば、概念図を描くことによってニュー

トン力学の概念を獲得させることができるかもしれない。もしそうならば、概念図の描画を、力学教育の場で利用できる可能性がある。しかし、抽象的な概念図と具体的な実際の運動とが、学習者のなかで関連付けられていなければ、ニュートン力学概念と現実の世界との関連も付かない。そこで、ニュートン力学概念の獲得のために、抽象的な概念図と具体的な運動を関連づけるための教材を作成した。

物体の運動に重ねて速度や加速度をリアルタイムに表示するARツールを、Processing<sup>(10)</sup>を用いて制作した。本ツールは、カメラで撮影した画像から動いている部分を検知(動体検知)し、運動している物体の速度ベクトルの矢印を画像に付加して、リアルタイムに表示する<sup>(11)</sup>。速度ベクトルや加速度ベクトルを視覚的に把握することができるため、実際の運動とニュートン力学概念とが関連付けられることが期待できる。物体の運動の初学者が、教科書などの概念図と実際の物体の運動との関連付けを助ける導入教材としての利用が可能である。

#### 6. 今後の展望

抽象的な概念図を描くために、現実の世界と抽象的な概念図との関連付けを補助するARツールが有用であると思われる。ニュートン力学の概念獲得に有効なARツールについて検討を進める。また、ニュートン力学の学習者に抽象的な概念図を描かせることによってニュートン力学の概念を獲得させる方法について検討し、概念獲得を容易にするような概念図の描き方や提示法についても検討したい。

#### 参考文献および注

- (1) E.Redish: "Teaching Physics with the Physics Suite" Wiley (2003).
- (2) ここでは「線画」としたが、デッサンのことではなく、線だけで描いた画といか意味で使用した。いわゆる、ポンチ絵のようなものを含む。
- (3) 場合によっては、描いている側もその線画が何を意味しているかを把握していないのではないかと、少なくとも、何を意味しているかについて無頓着ではないかと、思わざるを得ないものもある。
- (4) 抽象画はどのようなのだ、というような疑問があることは承知しているが、本稿は絵画について論ずるものではないので、ローカルな定義をただで済ませることにする。
- (5) もちろん、完全に把握することは困難であることは、日常的に学生と接している教員であれば嫌というほど感じていることではある。
- (6) たとえば、E.Redish: "Teaching Physics with the Physics Suite" Wiley (2003).
- (7) たとえば、J. Walker: "Physics" Prentice Hall (2002) 110-111.
- (8) しかも、視覚的表現である図は、絵画的に理解することもできてしまうため、図として理解できていない学習者ですら、理解できていない事に気がつかない可能性もある。
- (9) D. Hestenes, et al. *Phys.Teach.* **30** (1992) 141-158.
- (10) <http://www.processing.org>
- (11) 同様のツールをFlashで作成したことがある(佐藤実, 日本物理学会講演概要集 **61-2**(2007)293)が, Flashの再生環境が悪くなってきたためProcessingに移行した。