

投稿

## 授業イントロダクションとしての パワーズ・オブ・テン

渡會 兼也（金沢大学教育学部附属高等学校）

チャールズ&レイ・イームズ夫妻が1970年代に作った「パワーズ・オブ・テン」は、世紀が変わった今でも数学や物理などの科学分野だけでなく、映像やデザインなどの芸術分野にも多大な影響を与えている。今回、高校2年生の授業(物理)のイントロダクションとして、パワーズ・オブ・テンのDVDを紹介したところ、非常に大きな反響があった。授業の実践報告とその反省点を述べる。

### 1. はじめに

「Powers of Ten」(以下、POTと略します)。日本語で「10のべき乗」。この言葉は少しでも科学をかじった人ならば聞いたことがあるだろう。1970年代にチャールズとレイのイームズ夫妻が作ったこの(科学)映像作品[1]は“大きさ(スケール)”という概念を実際の映像で見せて比較・体験できるだけでなく、芸術や映像分野においても撮影技法や視点の切り替えなど、多大な影響を及ぼした。ピクニックに来ていた一般的なアメリカ人家族の風景から始まり、10秒毎に10倍のスケールに離れながら太陽系・銀河系・銀河団・そして宇宙の果て(10の25乗メートル)までの映像は、自分が宇宙旅行をしている錯覚に陥る。また、逆に10秒毎に10分の1のスケールで人体に入り込み、DNAの2重螺旋構造や電子雲、最終的にはクォーク模型にまで迫る映像は人体が小宇宙であることを感じさせてくれる。特に、CGのない時代にあれだけ迫力のある映像を作り出したことだけでも賞賛に値する。

多くの人々がこの映像に感銘を受け、共感したことを証明するように、世の中には多くのパワーズ・オブ・テン関連の教材やWebコンテンツが存在する。特に、天文分野は扱う桁数が多いため、天文学のイントロダクションとして有効利用されており、例えば、愛知

教育大の沢先生の研究室ではパワーズ・オブ・テンが体験できる自前のプログラムを開発・提供している[2]。一度あの映像を見て感動した人が、誰かに見せたいと思うのは自然な感情だろう。教育者なら尚更である。

私は以前から、どこか教育的な職に就いたときは、最初の授業で生徒・学生にパワーズ・オブ・テンを見せよう、と頭のどこかで考えていた。4月から勤務している我が校の生徒は学力が高く、知的好奇心も旺盛であると聞いていたので、どんな反応が返ってくるのか楽しみで今回の授業実践を行った。

今回私は、高校2年生の物理授業の導入として、3つの意図を持ちオリジナル版のパワーズ・オブ・テンのDVD\*1 [1]を紹介した(物理選択者は80人弱)。

1つ目は、高校2年生は高校1年生時に理科総合を通じて物理・化学・生物・地学の世界を概観してきたが\*2、各分野の体系的な位置づけや整理をする単元箇所がない。故に、映像を見ることで今まで学んだ世界を頭の中で整理・統一する機会を提供する。

2つ目は、POTを見ることで物理学が扱う世界(スケール)を俯瞰する。

3つ目は、POTを映像作品として楽しみ、少しでも科学と芸術への興味と関心を深めることも期待した。

以後の節では、最初に今回の授業準備と手順について紹介し、その後に生徒の反応や感想を紹介する。4節で議論や反省点を述べた後、5節でまとめを行う。

\*1 実は POT には 2 種類あり、1968 年に作られた作品(モノクロ)と 1977 年に IBM の要請によって新たに作られた作品(カラー)である。有名なのは 1977 年版の方で、今回生徒に見せたのも 1977 年版である。

\*2 基本的に、理科総合 A は化学・物理分野、理科総合 B は生物・地学分野である。

## 2. 準備と手順

まず、生徒には DVD を見せる前に補助的なプリントを提供した(図1参照)。図1は、10の何乗という桁数を実感してもらうために、べき乗表示と、そのまま0を書いた表を用意した(ちなみに、高校2年生の初めではまだ対数・指数を学習していない可能性がある)。この表にはその桁数で使う単位とそのスケールをもつ物体を例に挙げた。

このプリントを配布し、簡単にイームズ夫妻に関する説明を行った後に DVD を観賞した。鑑賞中にメモをとっても良いことにし、鑑賞後に感想文も書いて提出してもらった。映像自体は10分程度で終わるので、前後の授業展開によるが、感想を書く時間は十分取ることができる。また、日経サイエンス社から出版されている『POWERS OF TEN』の本[3]も紹介し、興味のある生徒は授業後に参照できるようにした。

## 3. 生徒の反応

映像が始まるとすぐに、あちこちから歓声や感嘆の溜め息、悲鳴・嗚咽? (笑) が聞こえてきた。DVD の英語の説明はそのまま流し、説明が足りないと思われる部分は筆者が一言二言補足した。映像を見た後はどの生徒も忙しそうに手を動かして感想を書いていた。その感想の一部を紹介しよう。

POWER (m)		典型的な単位	自然界
10 <sup>25</sup>	1000000000000000000000000000 m	10億光年	宇宙構造
10 <sup>24</sup>	100000000000000000000000000 m	1億光年	銀河団
10 <sup>23</sup>	10000000000000000000000000 m	1000万年	系外銀河
10 <sup>22</sup>	1000000000000000000000000 m	100万年	近銀河
10 <sup>21</sup>	100000000000000000000000 m	10万年	我々の銀河系
10 <sup>20</sup>	100000000000000000000000 m	1万年	恒星の爆発(超新星爆発)
10 <sup>19</sup>	10000000000000000000000 m	1000年	恒星間空間
10 <sup>18</sup>	1000000000000000000000 m	100年	星雲
10 <sup>17</sup>	100000000000000000000 m	10年	近隣の恒星
10 <sup>16</sup>	10000000000000000000 m	1年	恒星としての太陽
10 <sup>15</sup>	1000000000000000000 m	1兆 km	
10 <sup>14</sup>	100000000000000000 m	1000 億 km	彗星
10 <sup>13</sup>	10000000000000000 m	100 億 km	土星
10 <sup>12</sup>	1000000000000000 m	10 億 km	木星
10 <sup>11</sup>	100000000000000 m	1億 km	内惑星
10 <sup>10</sup>	10000000000000 m	1000万 km	地球の軌道
10 <sup>9</sup>	1000000000000 m	100万 km	月の軌道
10 <sup>8</sup>	100000000000 m	10万 km	地球
10 <sup>7</sup>	10000000000 m	1万 km	大気、海、地球
10 <sup>6</sup>	1000000000 m	1000 km	アメリカの五大湖
10 <sup>5</sup>	100000000 m	100 km	シカゴの町
10 <sup>4</sup>	10000000 m	10 km	下町
10 <sup>3</sup>	1000000 m	1 km	近所
10 <sup>2</sup>	100000 m	100 m	湖畔の公園
10 <sup>1</sup>	10000 m	10 m	人工の物体、巨大な生物
10 <sup>0</sup>	1000 m	1 m	ピクニック
10 <sup>-1</sup>	0.1 m	10 cm	人間の手
10 <sup>-2</sup>	0.01 m	1 cm	皮膚
10 <sup>-3</sup>	0.001 m	1 mm	視覚の限界
10 <sup>-4</sup>	0.0001 m	0.1 mm	顕微鏡による血液の世界
10 <sup>-5</sup>	0.00001 m	10 ミクロン	リンパ球の構造
10 <sup>-6</sup>	0.000001 m	1 ミクロン	細胞の核
10 <sup>-7</sup>	0.0000001 m	0.1 ミクロン	DNA
10 <sup>-8</sup>	0.00000001 m	100 オングストローム	DNAの構造 二重らせん
10 <sup>-9</sup>	0.000000001 m	10 オングストローム	分子構造
10 <sup>-10</sup>	0.0000000001 m	1 オングストローム	炭素原子の表面
10 <sup>-11</sup>	0.00000000001 m	0.1 オングストローム	原子の内部
10 <sup>-12</sup>	0.000000000001 m	1 ピコメートル	
10 <sup>-13</sup>	0.0000000000001 m	0.1 ピコメートル	原子核
10 <sup>-14</sup>	0.00000000000001 m	10 フェルミ	陽子と中性子
10 <sup>-15</sup>	0.000000000000001 m	1 フェルミ	陽子とクォーク
10 <sup>-16</sup>	0.0000000000000001 m	0.1 フェルミ	

図1 補助教材として使った表。スケール(べき乗表示と0をそのまま書いたもの)と単位、各スケールに対応する物質の大きさを例示した。

ただし、感想は自由記述だったので、筆者が大まかに分類したものを紹介する。一人が沢山の感想を書いている場合もあるし、全然書いていない生徒もいたのでカッコ内の数値は人数ではなく、意見・感想の数であることを断っておく。

### \*一般的な感想(カッコ内は意見の数)

- 感想1. 10の何乗の世界自体が想像できない(1)
- 感想2. CGなしでの映像がすごい(8)
- 感想3. どうやって撮ったのか。経費は?(3)
- 感想4. ミクロとマクロを実感した(24)
- 感想5. 自分がいる世界を体感(20)
- 感想6. 音楽も映像にマッチしていた(1)
- 感想7. 「10」から世界が広がっていくことがおもしろい(9)

- 感想8. 小さいものが大きなものを形成(4)  
 感想9. 自然における相互作用に気が付いた(1)  
 感想10. 以前、美術の授業で見たことがある(2)  
 感想11. 神秘を感じた(5)  
 感想12. 目が疲れた(2)  
 感想13. 気持ち悪くなった(酔った)(5)

やはり、一番多かったのは、4,5番で、生徒の世界観が変わった、とか自分がいかに小さい存在かがわかった、という感想である。これはPOTを見た誰もが感じることであろう。中には、8,9のように物質の構造形成や相互作用に気が付いた生徒もいた。

数字の持つ神秘性についても注目したい(7など)。DVDで扱っている世界は10の $-15$ 乗から10の $25$ 乗のスケールだが、それ程大きな数を扱った経験がない人にとっては神秘的な印象があるらしい。大きな数を記述する数学的な方法自体に関心を持った生徒もいる。高校数学では、指数関数的な数の増加を記述する際に(常用)対数を使うと便利になるという動機で、指数や対数の導入を行う場合がある。数学的な記述方法という視点から、POTと数学との関連から、総合学習等の授業に応用できるかもしれない。

また、12, 13のように何人かの生徒は、映像を見て気持ち悪くなった、という感想もあったため、事前に注意を促す必要があったと思う。

#### \* 宇宙に関連する事項

- 感想14. 宇宙の背景にある点が動かなかったのが、スケールを変えると動いた(1)  
 感想15. 銀河もスケールを大きくすると点になる(5)  
 感想16. 光のスピードでも本当は行けないところに行けた感じがした(1)  
 感想17. 銀河よりも大きいものがあることに驚いた(4)  
 感想18. 宇宙の構造をもっと知りたくなった(1)

- 感想19. 宇宙の果てってどんなの?(2)  
 感想20. 宇宙は映像でも距離感がわからなくなるくらい大きい(3)

17は、多くの高校生の世界観を表している感想だと思う。実際、高校で地学を選択できる学校は全国でも少数であろうし、1年次に理科総合Bを選択したとしても、宇宙分野は太陽系しか扱わない。故に、もし高校で地学や理科総合Bをやる機会がなければ、生徒にとって太陽系が一番大きなスケールになる。学校教育では、太陽系よりも大きなスケールを認識させることは困難になりつつあるのだ。この天文学的な世界観をどうやって広げるか?が今後の天文教育に携わる者の課題であろう。太陽系よりも大きなものを体系的に教えることができなくても、せめて20のような感覚的な理解にまで到達させたいものである。

天文教育普及を行うものとしては、14, 15, 18, 19辺りの感想はうれしい。こういった感想を書く生徒は、やはり日頃から天文に興味を持っているようである。

#### \* 物理学・自然科学全般

- 感想21. 地球よりも大きいものが現代の物理・自然科学でわかっていることがすごい(7)  
 感想22. 芸術・デザイン・物理が関連している(2)  
 感想23. 教科書に書いてある図では、体感できない(1)  
 感想24. 沢山の現象を人間の知識の範囲で捉えようとするのがすごい(5)  
 感想25. 二重らせん構造が見えて感動(1)  
 感想26. 化学をやっている、オービタルや電子の様子など、漠然としかわからなかったもので、少し実感が湧いた(1)  
 感想27. 電子やDNAのイメージがつかめた(1)  
 感想28. 実際に見えていないのに、存在証明ができるのはすごい(2)  
 感想29. 自然科学の扱う対象が広範囲(1)

21,24,28のように、物理学や自然科学に畏敬の念を覚えた生徒が少なくなかった。POTの当初の目的は科学的な映像作品を作ることであったから、映像を見て自然科学の啓蒙ができれば本望であろう。

また、個人的に23の感想は重要であると思う。どんなにわかりやすい図や論理を使ってスケールの違いを説明しようとしても、教科書などの紙媒体は映像媒体が持つ、“疑似体験能力”に勝つことは殆ど不可能である。やはり、映像のすばらしさを感じると同時に、状況に応じた教材の作成が必要だと思った。

25,26,27は4節で述べるように理科の他の分野にも通じる話である。

#### \*その他・番外

- 感想30. 宇宙人は絶対にいる(2)  
 感想31. 究極は円状(球)になる?(1)  
 感想32. 思わず自分の手を見た(1)  
 感想33. 電子の動きがすばらしい(1)  
 感想34. 家族の絆も見えた(笑)  
 感想35. 生きていくむなしさを感じた(3)  
 感想36. 自分の住んでいる世界とは違う世界から物事を見てみたい(1)  
 感想37. テーマパークのアトラクションみたい(1)  
 感想38. 宇宙船に乗っているよう(1)  
 感想39. 戻ってきて安心した(1)  
 感想40. いつか宇宙を旅したい(1)  
 感想41. google earthみたい(1)

中には、意味不明な(難解な?)文章もあったが、高校生ならではの感想や発想を聞くことができ、個人的には面白かった。

今回の感想文は我々の高校のみなので、違った場所で行えば当然違った答えが得られるだろう。学校による違いに着目してみるのも面白いかもしれない。

#### 4. 他の理科(化学、生物、地学)との関連

パワーズ・オブ・テンの映像は、物理学と他の分野との関連づけ、という意味でも重要な意味がある。筆者は図2を用意し、理科の科目の相互の関係をスケールという観点から区別してみた。この図を見ると、理科の化学・生物・地学は物理的なスケールで分けることができ、物理学はすべてのスケールを網羅する学問であることがわかる。特に両極にある、宇宙の果てと素粒子の世界においては、物理学でしか扱えないため、特徴的な分野であるといえる。

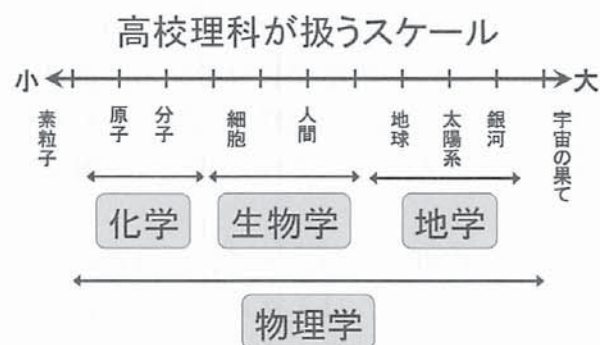


図2 高校理科が扱うスケールと科目の関係

また、横軸を力として、自然界に存在する4つの力<sup>\*3</sup>が及ぼすスケールを対比させてもよいと思う。強い力や弱い相互作用は、素粒子や原子・分子レベルでしか効かない力であり、あまり実感することができないが、我々が生活しているようなスケールでは電磁気力は重力よりも圧倒的に強いが(10の40乗倍)、その事実をしっかりと認識できている生徒は少ない。力の及ぼすスケールを明示・対比させることも重要である。

<sup>\*3</sup> 4つの力とは、強い力(核力)、弱い相互作用、電磁相互作用、重力であり、現行の高校の物理学Ⅱで扱う内容である。ちなみに、その4つの力を媒介するゲージ粒子についても記述がある。

## 5. まとめ

今回の試みは高校だけでなく大学における科学教育のイントロダクションとしても利用できるはずだ。もうすでにやられている方もおられるかもしれないが、もう一度その教育的価値を吟味し、利用法を考えてみることは無駄ではなからう。

大学の講義でPOTを使うことは、これまで勉強してきた自然科学の世界を振り返るだけでなく、新たに勉強意欲が掻き立てられるかもしれない。また、高校で物理を履修しなかった学生にとってもPOTは、生物や化学と物理学の関係性を認識し、自分の専門分野を伸ばしていけるかもしれない。そういった意味でも、どこかの段階で自分の学んだ世界を一望し、物理学と他の分野との関連や自然科学の意味を再考することは非常に有意義であろう。

また、POTを見ることで、学習者にマクロからミクロ、またはミクロからマクロへの視点の切り替えを期待することができる。実際にその後の授業でも、現象を生徒に説明する際にPOTが役に立っている気がする(←あくまで私的感想ですが…)。『視点の切り替え』は美術・芸術分野でも重要であり、感想10のように、中学校の美術の時間でPOTを見た、という生徒も何人かいる。また、個人的な話だが、芸術大学出身の私の知り合いの殆どがPOTを見た経験があるそうだ。こういった分野ではどんなモチベーションでPOTを見ているのか、を調査するのも面白いかもしれない。

DVD教材の『効果的な見せ方』を確立できれば、もっと教育利用が進むのかもしれないが、その教育効果を評価することは非常に難しい問題である。当面は様々な方法で実践を繰り返し、それを蓄積していくことが必要であろう。今回はイントロダクションとしてPOTを使ったが、講義が一通り終わった後の

まとめとしてのPOTの使い方もある。今後、こういった方法論を確立していくことで、物理教育や天文教育のより良い方向を探っていく必要があると思う。

## 謝辞

この原稿を作るにあたりコメントを頂いた金沢大学教育学部附属高校の榎田豪利先生、深田和人先生、戸田肇先生に感謝いたします。また、物理の授業に出席していた第60回生のご協力に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] EAMES FILMS チャールズ&レイ・イームズの映像世界 DVD アスミック・エース エンタテイメント
- [2] 愛知教育大学 沢研究室にあるパワーズ・オブ・テンのダウンロードサイト  
<http://phe.phyas.aichi-edu.ac.jp/~sawa/pot.html>
- [3] POWERS OF TEN 宇宙・地球・素粒子をめぐる大きさの旅、フィリップおよびフィリス・モリソン、チャールズおよびレイ・イームズ事務所 共編著 村上陽一郎・公子訳、日経サイエンス社
- [4] パワーズ・オブ・テンのウェブサイト  
<http://www.powersof10.com/>