

集中連載

国際教員研修プログラム NASE

～ワークショップ 8「宇宙の膨張」～

福江 純（大阪教育大学）、上之山幸代（和歌山大学）、鷺坂奏絵（和歌山大学）、
富田晃彦（和歌山大学）、中串孝志（甲陽学院中高）、松本 桂（大阪教育大学）

1. はじめに

2019 年 11 月 9 日（土）と 10 日（日）の 2 日間にわたり、天文分野の国際教員研修プログラム NASE-Japan 2019 [1]が、大阪教育大学天王寺キャンパスで開催された[2]。いくつかの講義もあるが、実習（ワークショップ）が中心の研修で、開かれた 10 のワークショップのうち、本稿ではワークショップ 8「宇宙の膨張」について紹介する。

2. ワークショップ 8 のねらい

ワークショップ 8 のタイトルは英文では Expansion of the Universe、和訳では「宇宙の膨張」とした。NASE のウェブサイトによる、このワークショップの概観とねらいをまとめ直すと以下ようになる。

概観：

膨張宇宙の基礎概念について簡単な実習作業を行う。ガスのスペクトルやドップラー効果、ゴムバンドの伸張、風船の膨張などなどの実習を行う。ハッブル定数の計算方法なども行う。宇宙背景放射の検出方法も紹介する。

ねらい：

宇宙の膨張を理解する。宇宙には中心がないことを理解する。ハッブル＝ルメートルの法則を理解する。暗黒物質の意味を理解し、重力レンズを用いた再現をする。

このワークショップでの活動は、スライドの中では 8 つ用意されているが、7 つ目の活動はブラウン管テレビの砂嵐（ノイズ）を利用するモノで、いまや実施不可能なので、NASE-Japan 2019 では省略した。

1. ドップラー効果 (Doppler effect)
2. 光子の引き延ばし (The “stretch” of the photons)
3. ゴムバンドの宇宙 (The Universe in a rubber band)
4. 風船の宇宙 (The Universe in a balloon¹)
5. ハッブル定数の計算 (Calculation of the Hubble constant)
6. 中心のない宇宙膨張 (There is no center of expansion)
7. 宇宙背景放射の検出 (Detection of microwave background radiation)
8. ワイングラスを用いた重力レンズのシミュレーション (Simulation of gravitational lens with a glass of wine)

3. 活動 1：ドップラー効果

まずは赤方偏移やドップラー効果の説明で、音のなる目覚まし時計をぶん回すわけだが、かなり豪快（図 1）。でも、教室でやるには、結構あぶなくない！？とは、心の突っ込み。

¹ 風船を宇宙に見立てるのだから、on a balloon の方が適切だと思うが、原題のままとした。

活動1：ドップラー効果



- 目覚まし時計やブザーを水平に振り回すと、ドップラー効果を聞くことができる。
- 近づく時は波長が短くなり、音程が高くなる。
- 遠ざかる時は波長が伸びて、音程が低くなる。
- バイク、救急車、電車の音でも、同じことが起こる。

ここで検出したドップラー効果は変位によるものである。しかし、それは宇宙膨張による銀河のドップラー効果とは違うものである。

図1 活動1の説明スライド

世話人側で用意するもの

- 等時間間隔で音の出続ける時計
- 50 cm 以上の長さの手持ち紐がある布靴

4. 活動2：光子の引き延ばし

宇宙膨張で光の波長が伸びるのを、波状のケーブルで実演する(図2)。百均でゲットしたソフトケーブルを持参したけど却下。しかし、家庭用のセミリジッドケーブルなんて、いまの日本の家庭にはないと思う。実習器具は“身の回りのモノ”を使用する方針なのだが、発展途上国にはあっても、日本では入手できないモノが多かった。

活動2：光子の「引き伸ばし」

- 宇宙が膨張する時、光子の「引き伸ばし」が起こる。
- 家庭用電気機器で使われているセミリジッドケーブルを使用して、その引き伸ばしのモデルを作成できる。
- 光子の経路が長いほど、より引き伸ばされる。

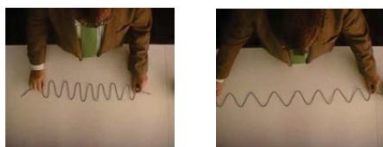


図2 活動2：光子の引き延ばし

世話人側で用意するもの

- 1 m 以上のコイル状の鉄線

5. 活動3：ゴムバンドの宇宙

宇宙空間が全体として一様に膨張することを表現するため、物差しに沿って印を付けたゴムバンドを伸ばし、距離に比例して伸びることを確認する実習(図3)。

活動3：ゴムバンドの宇宙

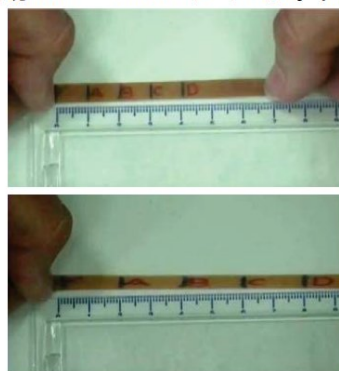


図3 活動3：ゴムバンドの宇宙

世話人側で用意するもの

- 幅 2 cm 以上で長さ 20 mm 以下の小球(スチロール屑など)

6. 活動5：ハッブル定数の計算

銀河を描いた膨張前の宇宙を表すトランスペアレンシーと、膨張後の宇宙を表すトランスペアレンシーを重ねて、それぞれの移動距離を測定し、“このトランスペアレンシー宇宙のハッブル定数”を求める実習。“ハッブル定数”がどこでも同じになることを示すものだが、一般的には難易度が高いかと思う。

活動5：ハッブル定数の計算

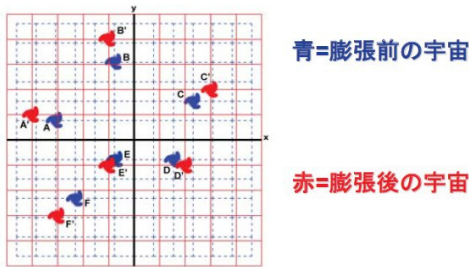


図5 活動5：ハッブル定数の計算

世話人側で用意するもの

- ☐ 銀河の膨張を示す図（ワークシート）
- ☐ 作業用の表（ワークシート）
- ☐ 鉛筆、定規、電卓

7. 活動6：中心のない宇宙膨張

ランダムに点（銀河）を散りばめた“トランスペアレンシー”を、100%のものと105%に拡大したものを2枚用意して、“OHP（オーバーヘッドプロジェクタ）”で投影する実演（図6）。いろいろずらしてみても、どこも中心になる＝中心のないことを説明する。比較的わかりやすい実演ではあるが、トランスペアレンシーも OHP も、日本の現場にはもうほとんどないので、別の工夫が必要だろう。

活動6：中心のない宇宙膨張

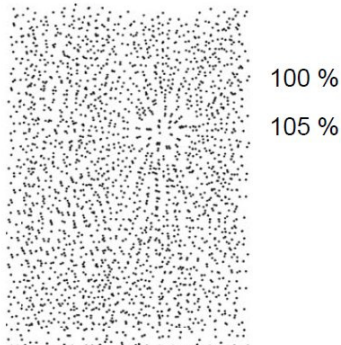


図6 活動6：中心のない宇宙膨張

世話人側で用意するもの

- ☐ 100%と105%の拡大率の OHP シート
- ☐ OHP プロジェクタ

9. 活動8：ウィングラスを用いた重力レンズのシミュレーション

ウィングラスの脚の部分を用いて、重力レンズの変形を模倣する実習。脚を切り取るのは注意が居るのと、一般には対数曲線にはなっていないので、点源の完全なシミュレータではない。

アクリル棒から削りだした重力レンズシミュレータは、20年ぐらい前から、大阪教育大学の十八番だったりする（図7）。綺麗に対数カーブで磨いたアクリル製重力レンズ（蜂屋作）を持参して、二重像やアインシュタインリング、アインシュタインクロスを再現してみせた（図8）。



図7 アクリル製重力レンズ

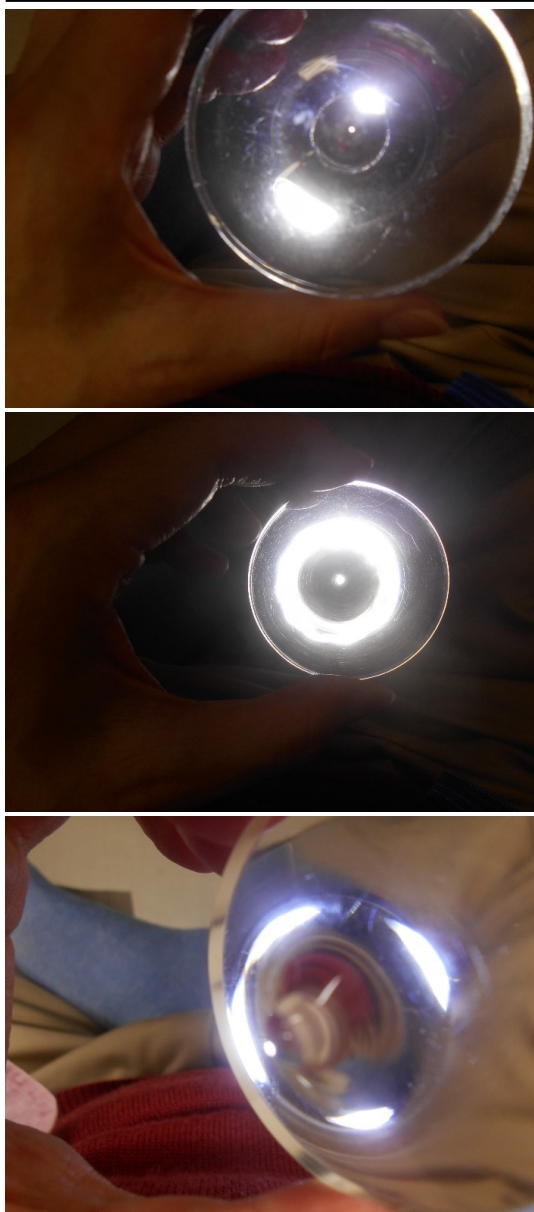


図 8 上から、二重像、アインシュタインリング、アインシュタインクロスの再現

世話人側で用意するもの

- ☐ 無地のワイングラス
- ☐ グラスの脚の部分
- ☐ 白ワイン（透明なドリンク）
- ☐ 赤ワイン（色つきドリンク）
- ☐ 方眼紙

□ 懐中電灯

10 年ぐらい前から始まった NASE だが、おそらくは発展途上国を意識しており、また 10 年間、内容の改訂があまりされていないと考えられるため、現在の日本では入手できない準備物も少なくなかった（ブラウン管テレビ、鉄線、OHP などなど）。修了証を発行する関係から、今回はプログラム本体は修正しないという条件で実施されたが、現場の実状に合わせて上手に改訂すれば、より効果的なプログラムになると思われる。

文 献

[1] NASE-Japan 2019

<http://web.wakayama-u.ac.jp/~atomita/nasejapan2019/>

[2] 富田晃彦、福江純、松本桂、中串孝志、上之山幸代、鷺坂奏絵（2020）「国際教員研修プログラム NASE：NASE-Japan 2019 の概観と開催の経緯」天文教育，Vol.32, No.2, 42-48



福江 純

fukue@cc.osaka-kyoiku.ac.jp



上之山 幸代

atoriekou@yahoo.co.jp



鷺坂 奏絵

kanae.s25.heron@gmail.com



富田 晃彦

atomita@wakayama-u.ac.jp



中串 孝志

nakakushi@koyo.ac.jp



松本 桂

katsura@cc.osaka-kyoiku.ac.jp