

# HSCmapを使った膨張宇宙の学習

埼玉県立豊岡高校（教諭）  
東洋大学機械工学科（非常勤）  
原 正

## 1. きっかけ

2017年末に臼田一佐藤さんからHSC画像の一般市民向け公開システムの紹介をうけた。このときはHSCViewerという名称で、WEB上で画像が閲覧でき、銀河の種類を参加者が決めるといった試みの紹介であった。

所見の印象は、星図からシームレスにHSC画像に移行可能し、圧倒的な数の銀河を見ることが出来るツールであるとの印象を持った。銀河の形態決定に参加しなくても、観察実習として充分使えるものであると直感した。

## 2. 高校地学基礎での実習

### 1) 最初の取り組み

2018. 3に豊岡高校の2年次生の地学基礎、1h×4クラスで観察実習を行った。このときは、使用機材の研究が十分でなかったため、教師機からプロジェクタで演示するスタイルとした。授業の前半は教員が主導でM45、M42、M31の拡大画像を見せた。天球表示から拡大してHSCの画像にほぼシームレスにつながり、圧倒的な精細な画像が見えてくると、教室のあちこちから完成が上がった。このときは日周運動機能の0.2倍速程度のゆっくり流れる画像を見せ、次々と現れてくる銀河、銀河団の様子を観察した。生徒には配布された白紙に見つけたことを10個程度自由記述する課題を課した。こちらは意図していなかったが「小さい物は黄色、オレンジ色だ。」という記述が各クラス1/3くらいは見られた。これはもちろん赤方偏移の表れなので、HSCViewerでハッブル・ルメートルの法則を見ていることになる。これは、宇宙論的な観察実習課題になり得ると思った。

### 2) 赤方偏移を捉える試み

2019. 3に前年度の結果を経て、積極的に大きさを距離に読み替えて色の違いに気づかせる課題をワークシート化し使ってみた。授業は前年と同じく2年次生の地学基礎6クラスで実施した。操作法はPC、プロジェクタを使用した。4人で1つの班を作らせ、画像の閲覧は個人のスマホを使用した。課題は次の3つを設定した。1) ハッブル分類に示される銀河を画像から自由に探し、スケッチする。2) ゆがんだ形の銀河を探してスケッチし、どうしてそうなったのか班で議論する。3) 小さく見える銀河が遠い物なので、大きさ以外に何か特徴がないか。というも

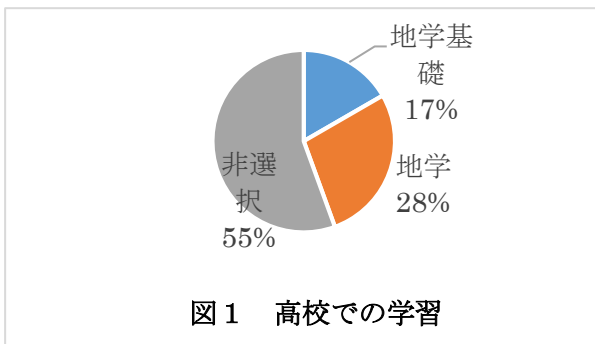
のである。予測通り、設問3) に対して、小さいと黄色い、赤いという記述が1 / 3からクラスによっては1 / 2に及んだ。事前の授業では遠い銀河が遠ざかっている、光のドップラー効果で後退速度が読み取れるという話はしてあった。ただし、そのことを意識して観察していた生徒は少ないと思う。たまたま、事前の授業内容をよく覚えている生徒がいれば、その班は膨張していることを記述できていたようだ。

なお、余計なことだが、接続速度制限を受けている生徒が各班1名程度おり、世相を反映していると思った。班全員が接続できないということにはなかった。

### 3. 大学教職課程用地学実験での取り組み

高校でのICT（スマートフォン）を使った授業の例として、豊岡高校での実践を元に東洋大学川越キャンパスでの実習に取り入れた。ワークシートに沿って実施する。大きさを距離と読み替えて、赤方偏移を捉えること、大規模構造を捉えることができるかを試みた。学生は教職課程をとっている2年～3年生で1コマ90分である。科目の履修には地学（固体地球のみ）の修得が前提である。履修している人数は18名である。出席者は17名であった。

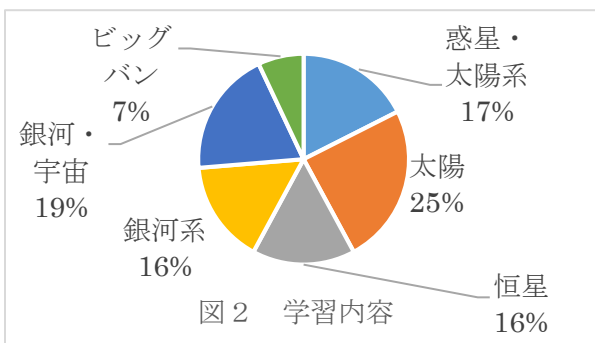
#### 1) 学生の地学、天文の学習経験



高校での地学基礎、地学履修状況は図1の通りである。意外と地学基礎・地学を学んでいる印象である。

大学で天文を含む地学を履修しているのは3人、天文学を履修しているのは7人だった。

既に学習していることを自己申告してもらおうと図2のようになる。今回の実習と関連が最も深いと思われるビッグバンは3人に一人程度の意識である。



#### 2) 実践

授業は5人から3人で班を作ってもらった。学年で固まる傾向があった。各自のスマホでサイトに接続してワークシート（資料参照）にスケッチや議論の内容を記述する形態をとった。

内容は、高校で実施したように、画像を見ながらハッブル分類の典型的なものを

班員で分担して探し、情報を共有してスケッチを残すもの。銀河の大きさを距離と読み替えて、距離によって見え方がどのように違うのか見いだすもの。新たな課題として大規模構造が見いだせないか、大きさを距離と見たて、表示の画角内の銀河の数を数えて距離別の数密度を見積もるものを設定した。

時間の関係で、共通課題としてⅠ形態分類を、選択課題として、Ⅱ大規模構造の観察とⅢ宇宙膨張を班ごとに指定して実施した。共通課題、選択課題とも40分ずつ実施した。

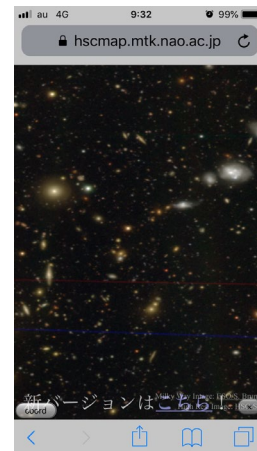
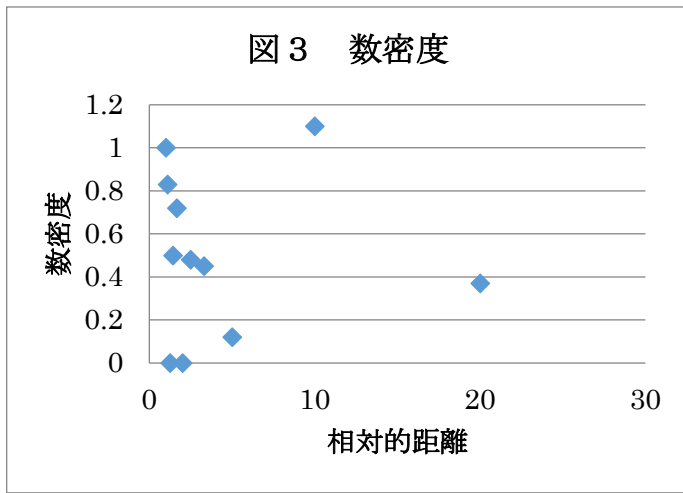


図4 左のデータの画面

授業の結果は共通のⅠ形態分類はおおむね良好であった。高校での実施も可能と判断できる。Ⅱ大規模構造については、ねらい通りには進められず、大きさを距離に変換するのに時間がかかった。理由は見かけの大きさ、つまり見かけの角度と距離の切り替えを行った経験のなさによると思われる。ヒントを与えればできる学生がほとんどである。しかし、続く数密度は求められない状況だった。同じ画角で距離が異なった場合、見える面積角度は距離に比例するが、それを銀河の見かけの角に結びつけられない状況であった。そこで、単純に見えている数で作業をしても良いとして続行させた。この方法ではたくさん数えた班は比較的よい結果を得た。Ⅲ宇宙膨張は容易に距離と色の関係は見つけることができた。赤方偏移を知っている学生もいて、班員に説明しつつ課題に取り組んでいた。計算が不要な点が課題を容易にしたと判断する。しかし、赤方偏移と宇宙膨張の間にはハードルがあり、宇宙膨張と結びつけるにはかなり助言が必要となった。

### 3) 事後アンケート

授業の後、事後アンケート（資料2参照）を実施した。

「このサイトを知っていたか」に対して、「知っていた」学生が2名、「知らなかった」が15名であった。

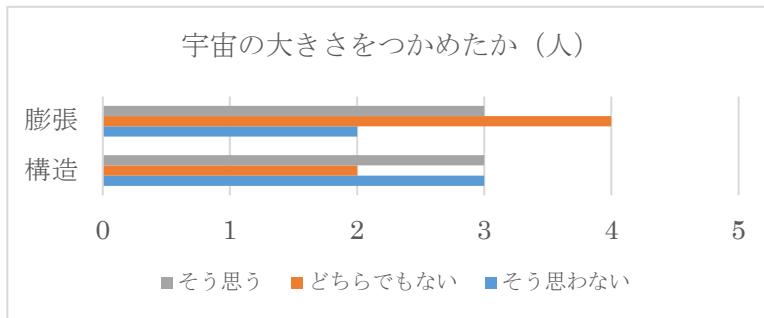
「今後使うことがあるか」に対して、「ない」が4人、「個人的に使う」が5名、「他の人に教えたい」が5名、「他の機能も知りたい」が4名となった。教職課程であることを考えると他の人に教えたいという解答に数が集まるのはうれしい。実物教育

の名をあげて、その目的に使いたいという感想も見られた。また、他の機能も知りたいというのは工学系の学生が多いためと思われる。今後は使わないという学生が4名にとどまるのは、高評価といえる。

学生のコメント

肯定的なもの	否定的なもの
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベスタロッチの実物主義を生かしたい</li> <li>・両親が星が好きなのでぜひ見せたい</li> <li>・星の見え方がわかったり立体的だから</li> <li>・一回でも見て欲しい</li> <li>・先生になったとき使えそう</li> <li>・授業で見た以外の場所も見たい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使い方が趣味以外にない</li> <li>・タイミングがない</li> </ul>

以下の設問は大規模構造と膨張宇宙に取り組んだ者を分けて集計した。

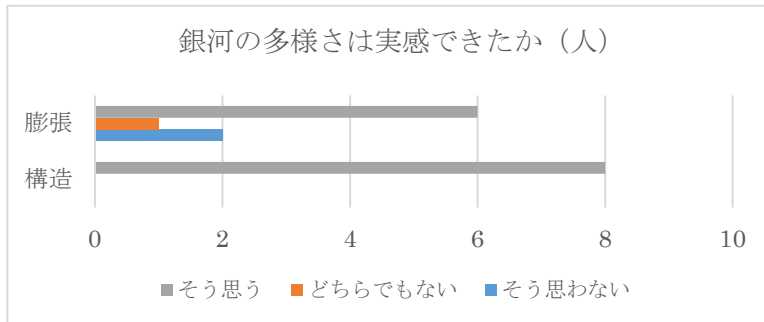


やはり、構造の方は、理解につながりにくかったようだ。

学生のコメント

	肯定的	否定的
膨張	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手軽に他の銀河と比べられたから</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・宇宙は膨張を続けているので大きさはわからない</li> <li>・広がっていることはわかっても大きさはわからないから</li> <li>・実際に直に見ることで実感がわくもの</li> <li>・宇宙の大きさだけはだれにもわからないと思った</li> </ul>
構造		<ul style="list-style-type: none"> <li>・グラフを作って距離があることがわかったが、本当の距離はわからない</li> </ul>

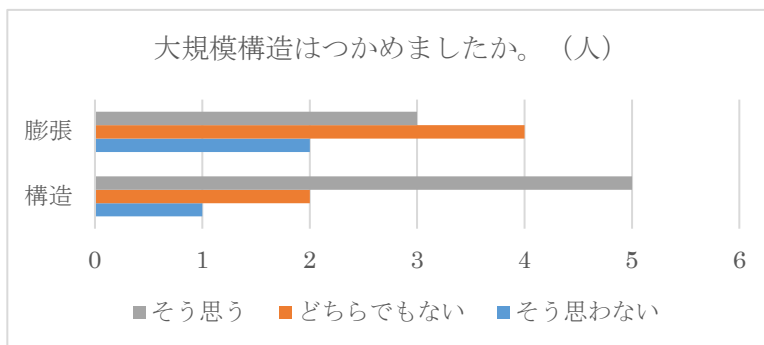
コメントを読むと、宇宙の大きさまでは実感できないといった意見が多い。設問として「広さ」と言った方がよかったかもしれない。



どちらの多様性さは理解できたようだ。

以下、学生のコメント

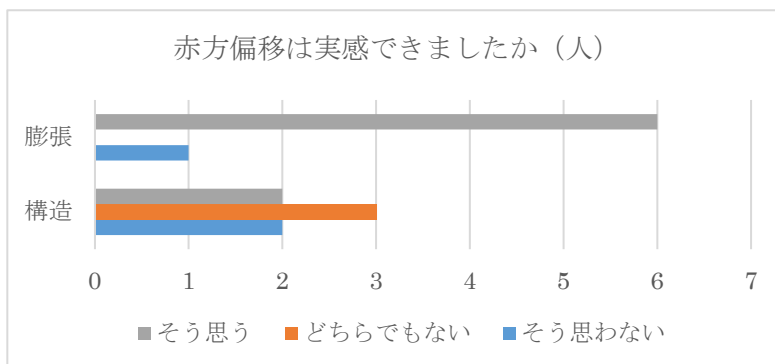
	肯定的	否定的
膨張	<ul style="list-style-type: none"> <li>・様々な形態を発見できた</li> <li>・スマホだが観察できた</li> <li>・いろいろの形の銀河を実際に見れたから</li> <li>・型や色を見ることができた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト利用なので</li> </ul>
構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・銀河にいろんな種類がある</li> <li>・たくさん銀河を見たから</li> <li>・たくさんの形が存在する</li> </ul>	



構造体験者の評価が良い。膨張に取り組んだ側の解答は、大規模構造班の発表を評価した形である。

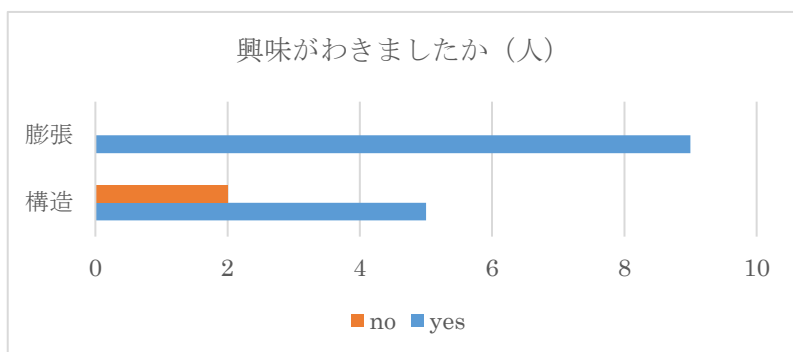
学生のコメント

	肯定的	否定的
膨張	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一部は知ることができた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の班がやった</li> <li>・まだ知らないことがある</li> </ul>
構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グラフに描いてわかりやすかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験ではよくわからず説明を聞いてなんとなくわかった</li> </ul>



膨張体験者の評価が良い。構造に取り組んだ側の解答は、膨張宇宙班の発表を評価した形である。こちらのグループは実体験なしでも、赤方偏移が見えていると認識できたともいえる。

	肯定的	否定的
膨張	小さい物ほど赤くなっていたから 波長や膨張が関係していることがわかった 遠い銀河はほとんど赤色である	赤方偏移は知らなかった
構造	赤く見える理由がわかった 色の変化はわかった 波長による色の違いを知れた	やってない(2)



深宇宙について、興味を持つようになれたのが良かった。構造班は若干難しかったので、否定的になっていると思われる。

#### 4. まとめ、今後の課題

以上、高校および大学の教職課程の地学実験での実践を踏まえて、教材を評価してみると、画像の良さが興味を引く大きな力であったと思っている。

膨張宇宙については、赤方偏移の概念が定着していないところで観察するのも厳しいかも知れない。ただ、赤くなっていると言う気づきから出発して、ハッブル・ルメートルの法則にたどり着く道はあると思われる。

大規模構造の解析については、方法も含めて今後わかりやすく設問を改良する必要がある。

#### 5. 謝辞

今回の試行授業は国立天文台市民天文台ProjectのHSCmapの公開なしは実現しなかった。すばらしいアプリを制作していただいた関係者のご尽力に敬意を表するとともに、感謝申し上げます。

試行実験やアンケートに協力していただいた、東洋大学川越キャンパスの地学実験選択者、埼玉県立豊岡高等学校の地学基礎選択者にも感謝申し上げます。

## 地学実験 1 4 データアーカイブの利用 (遠方銀河の観察)

目的 最先端天文台の観測装置HSCによるデータを使い、さまざまな銀河の姿を観察する。グループで議論しながら、銀河の姿をルール化する。

道具 スマートフォン (タブレット、PCでもよい。)、定規、グラフ用紙

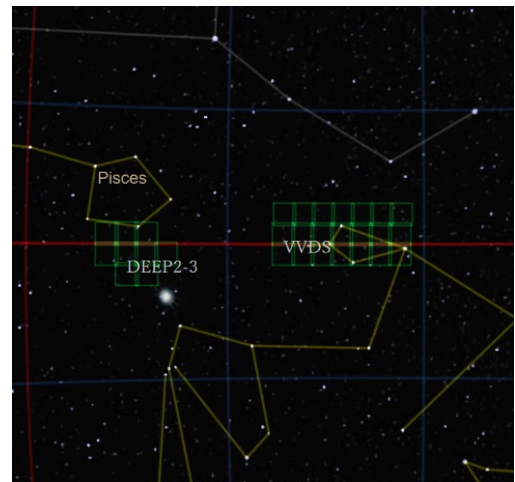
### 観察方法

- ①スマホのブラウザを起動。
- ②キーワード「hscmap」で検索。
- ③googleが提示する最初のサイトを開く。 url は [hscmap.mtk.nao.ac.jp](http://hscmap.mtk.nao.ac.jp)



こんな画面↓

### H C S M a p の画面



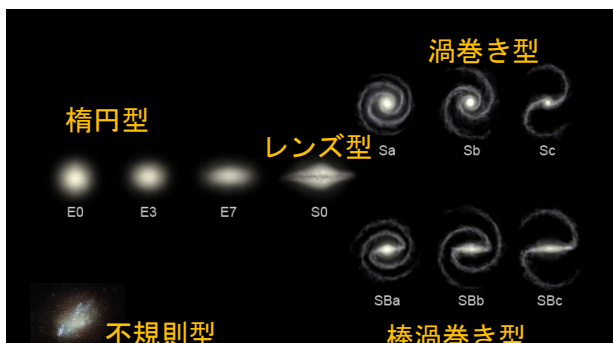
緑の格子状の枠の部分が公開されたHSCの画像。拡大したり、スワイプしたりしてみよ。拡大の限界、画像が見える限界を確かめよ。

\* H S C HyperSuprimeCam の略称。

国立天文台ハワイ観測所の直径 8 m 級のすばる望遠鏡に取り付けられた世界最高の視野を持つカメラ。100億光年以上の遠方の銀河も観測できる。

## I 銀河の形態

下の図は銀河を形態で分類したものでハッブル分類という。



楕円型：球体あるいは回転楕円体で円盤部は見られない。

渦巻き型 バルジが球状の場合と棒状の楕円である場合に分かれる。

レンズ型 円盤状の形態で、はっきりした腕は見えない。楕円型と渦巻き型の間と考えられる。

不規則型 不定形で小型の物が多い。

他に、複数の銀河が衝突して変形したとみられるものがある。

**課題 1** 左図を参照して、ハッブル分類の典型的な銀河を探してスケッチしてみよ。班員で分担して見つけよ。

楕円型	渦巻き型
棒渦巻き型	不規則型

**課題 2** 班員で分担して課題 1 に収まらない形態の銀河を探し、スケッチする。その天体がなぜそのような形になったのか議論してみよ。また、その結果を記録すること。

スケッチ	議論

学籍番号 ( ) 氏名 ( )



## II 銀河の分布

もし、実際の銀河の大きさが同じ程度であると仮定すると、遠い銀河は小さく写っていると思われる。大きさを距離の表れだと考えて、設問に沿って宇宙の奥行きの方の銀河の分布について考察せよ。

**課題3** 大きい物から、小さい物までバランスよく写っている場所を見つけよ。大きく見える銀河のサイズを基準にして、いくつかのグレードに分けてみよ。  
(例 最も大きいグループが12mm～6mm、次が3mm～1.5mm など。)

- ① 同一の画面に写っている各グレードの銀河の数を調べてみよ。
- ② 各グレードの代表的な見かけの大きさから距離を班で相談して推定してみよ。  
表に記入せよ (ここでの距離は絶対的なものではないが、比較はできる。)
  
- ③ スマホ画面の範囲を、各グレードの距離から測定し、その距離における数密度を推定せよ。

グレード	見かけの大きさ (mm)	数	距離	数密度
最大	～		1	
	～			
	～			
	～			

**課題4** 距離と数 (あるいは数密度) の関係から何が見えるだろうか。

- ① 両者の関係をグラフにせよ。
  
- ② わかることはなにか議論してみよ。(ヒント 何かの構造が見えないか)

### Ⅲ 銀河の見え方

Ⅱと同様に、実際の銀河の大きさが同じ程度であると仮定すると、遠い銀河は小さく写っていると思われる。一方、ハッブル・ルメートルの法則 ( $v=H_0d$ ) として知られるように、宇宙は膨張しており、遠い銀河ほど後退速度が大きくなる。銀河の大きさを距離と見立てたとき、見かけのサイズ以外の見え方が距離によってどのように違っているか、宇宙膨張をキーワードに考察してみよ。

**課題5** 遠い銀河について、見かけが小さいこと以外に見え方になにか特徴があるか。班で議論して気づいたことを書きなさい。


**課題6** 遠い銀河について、課題5で見つけたことのうち、宇宙が膨張していることが原因で起こることはどれか。また、そのように見えるのはどうしてか、班で議論してみよ。イラストを用いて説明してもよい。

☆ 感想、わかったこと

学籍番号 ( ) 氏名 ( )

