

「星の明るさと等級」教材とアクティブ・ラーニング

埼玉県立豊岡高等学校 原 正

1. はじめに

「アクティブ・ラーニング」という言葉には学習者自身が能動的に学習活動に取り組むということ軸にして非常に広い意味がある。これまで理科の授業に取り入れられていた実験観察もこれにあたるだろうが、新たに学習者が主体的に考え行動するという点が加えられたものである。今回の教材では生徒同士で共同作業をしつつ議論をして、知識に到達するような学びを意味することとする。このような活動にすでにある Paofits の教材の中から星の明るさと等級についてのものを使った例を提示したい。

教材はさじ天文台の冷却 CCD 撮像装置で捉えた散開星団 M45 (すばる) のデータで、一次処理を施したものである。マカリで測定することができる光の量と天文データベースで与えられる等級のとの間に、ポグソンが決定した関係が成り立つことを確認する教材となっている。これをペア学習またはグループ学習で授業展開する。

教材は星の光の量と等級の関係を体験できるものになっているが、授業時間等の制約もあると思われるので、2校時分のいずれかに取り組むようにしても良いだろう。1校時目として提示したのは天体の光の量を画像データからどのように引き出すか、と言う観点での提案である。2校時目は星の光の量と等級の関係を見いだすものである。表計算ソフトを使っても良いが、高校2年の2学期以降ならば片対数グラフを使用することを奨める。対数グラフの実践的体験ができるほか、きれいな直線関係になるので一時的に生徒の興味を高めるあるいは手応えを与える効果がある。

2. 授業展開例

目的 星の明るさはどのように捉えるのか、明るさと等級の関係かどうなっているか理解する。

方法 デジタルデータから星の明るさを数値として読み、等級に変換する方法を見いだす。

機材 生徒用 PC、教師用 PC、データプロジェクタ

教材 「星の明るさと等級」ワークシート	M45WS.doc
M45 画像データ	M45V1_4.fit
片対数グラフ	

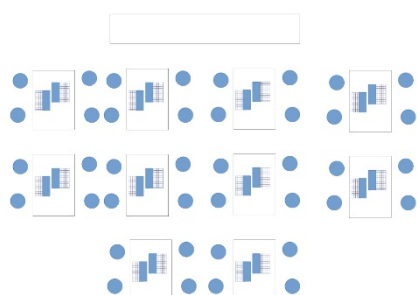
表計算ファイル M45mag.xls

時間短縮効果はあるが、片対数グラフ使用をお奨めする。

ワークシートは印刷して各自1枚配布。ファイルはサーバー上に置くか、CDやUSBメモリ等で配布するとよい。

使用教室 PC教室、あるいは一般教室にノートPC、プロジェクタを用意。PCにマカリをインストールしておくとき短につながる。

グループ 隣り合う生徒同士で机を並べてペアを組む。PCはペアで1台。



参考

豊岡高校での配置例

(地学実験室)

事前学習事項 夜空の星には様々な明るさがあり、等級が決められている。星の等級は数値が小さいほど明るいこと、歴史的には人が見た目で決めたものであることは学習済みであることが望ましい。科学的に扱うには測定したデータから導くことができたほうがよいことを示唆する。

マカリに初めて触れる状況を想定して1校時目にマカリの画像の読み込み、拡大縮小(必須)について解説する。マカリについての習熟度によって1時間分に圧縮して実施することも可能と思われる。この場合は1校時目に設定した星の明るさの測定の部分を既知として飛ばし、2校時目に測光を説明してから進める。

1) 1校時目 星の明るさの測定

	教員	生徒	備考
導入 5分	星の等級について確認 実習の目的を告げる。		
展開 5分 5分	①準備 ワークシート1とデータを配布。PCの起動。 ②画像 M45V1_4.fit の操作 ワークシート1に書いてある順に測光の手前まで操作して協同でやってみるように指示。	機器やデータを準備。 説明にしたがって操作	USBメモリ等に 必要なファイルは用意しておく。

5分	③ピクセル値 どれか一つの恒星に注目しながら、画素の四角いブロックが見えるように画像を拡大させる。 各ブロックの位置情報、ピクセル値が何を表しているか考えさせる。 いくつかの班に答えさせる。		
15分	④カウント値の解明 どれか一つ恒星を測光するよう指示。 測光ダイアログがよく見えるようにする。 ピクセル値、スカイ、カウント値について何を意味しているか生徒に話し合わせる。10分の制限を告げる。 丸い形状に広がった部分に一つの星から届いた光が分散して届いていることをヒントとして与える。また、星がない部分も空がある程度光ってしまうことも示唆する。 班ごとに気づいたことを発表させる。	表示される値が何を意味しているか考える。班で議論をする。	議論が活発になるように、ヒントを与えつつ指導する。 教師用ディスプレイに測光した画面を大きく出しておく。 途中経過を発表させても良い。
まとめ	カウント値が空の明るさを差し引いた、恒星からの正味の光の量であることを確認する。	到達した結果を発表する。	式を発表させると効果的。
5分			
5分	次回の予告、機器の片付けを指示する。		

2) 2校時目 星の明るさと等級の関係

	教員	生徒	備考
導入	星の等級について確認 実習の目的を告げる。		
展開	①準備 ワークシートとデータを配布。PCの起動。	取りに行く。	
5分			
7分	②ワークシートに沿って協同して表1を完成するよう指示。	説明にしたがって操作	
8分	③表1の完成を見たら、片対数グラフにデータをプロットする。	表1の完成	高校生は片対数グラフ使用

15分	<p>(エクセルファイルを開いて手順Bに沿ってグラフを完成させるように指示。)</p> <p>④星の明るさと等級の間にどんな関係があるか、ワークシートに沿って考えることを指示。時間制限を明確に伝える。残り5分で、前後2班を向かい合わせて意見交流をする。</p> <p>教員は時間管理とヒントを与える程度。</p>	<p>グラフを表示</p> <p>自分の考えを表明。意見交換もしつつ、ワークシートを仕上げる。</p>	<p>の経験があまりないので、特に対数目盛りのふり方を指導する。</p>
まとめ 10分	<p>見つけた関係についていくつかの班に発表させる。これがポグソンの関係であることを伝える。</p> <p>ワークシートの提出と機器の片付けの指示。</p>		<p>場合によっては教員主導でもよい。</p>

*明るい恒星の測光上の留意点

2校時目で行う活動で、⑩などの明るい恒星を測光した際に、マカリのデフォルトの設定では周辺の光芒を充分採り切れず count が小さくなってしまいうことがわかった (図 A)。対策として、測光ダイアログの測光半径を「半自動」とし測光設定の「恒星径」を少し大きめに設定する (図 B) ことで回避できる (図 C)。

この操作は一度すればいいので、教員が見本として⑩を測光して見せると良いだろう。この過程を省略すると、5等級差が100倍より若干小さくなる。(このことを発問にしてもいい。)

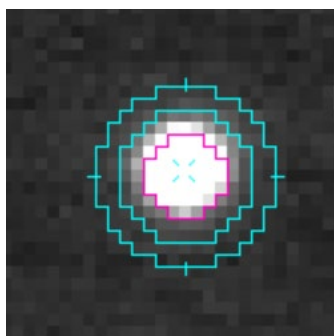


図 A 星がはみ出る



図 B 恒星径を7ピクセルに

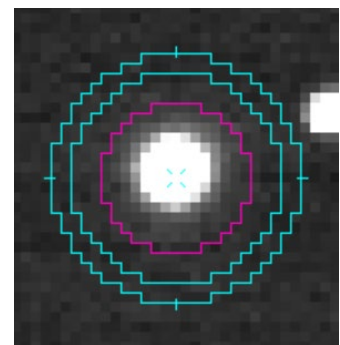
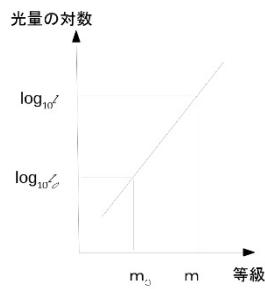


図 C 星を取り込めた

* ポグソンの式の導出

地学（4単位）などで、ポグソンの式を学習・発見を目的にするならば、表1に基づくグラフ作成後、つぎのような図を板書し、ヒントを与えても良い。



以下、必要に応じて提示

$$\text{傾き } a = \frac{\log l - \log l_0}{m - m_0} \text{ より}$$

$$m - m_0 = 5$$

$$\log \frac{l}{l_0} = 2$$

$$\text{よって } a = -2.5$$

上記で、対数の前の係数が -2.5 であることがわかる。あと、等級を求めるためには基準星が既知として必要になることを説明すれば良い。生徒の中には、もやもやとこのことに気づくものもいる。積極的発言につながるように指導すると楽しい授業になる。

参考資料

中教審初等中等教育分科会題100回 資料より

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/siryo/attach/1364316.htm

1)「何を知っているか、何ができるか(個別の知識・技能)」

各教科等に関する個別の知識や技能などであり、身体的技能や芸術表現のための技能等も含む。基礎的・基本的な知識・技能を着実に獲得しながら、既存の知識・技能と関連付けたり組み合わせたりしていくことにより、知識・技能の定着を図るとともに、社会の様々な場面で活用できる知識・技能として体系化しながら身に付けていくことが重要である(※7)。

2)「知っていること・できることをどう使うか(思考力・判断力・表現力等)」

問題を発見し、その問題を定義し解決の方向性を決定し、解決方法を探して計画を立て、結果を予測しながら実行し、プロセスを振り返って次の問題発見・解決につなげていくこと(問題発見・解決)や、情報を他者と共有しながら、対話や議論を通じて互いの多様な考え方の共通点や相違点を理解し、相手の考えに共感したり多様な考えを統合したりして、協力しながら問題を解決していくこと(協働的問題解決)のために必要な思考力・判断力・表現力等である。

特に、問題発見・解決のプロセスの中で、以下のような思考・判断・表現を行うことができることが重要である。

- 問題発見・解決に必要な情報を収集・蓄積するとともに、既存の知識に加え、必要となる新たな知識・技能を獲得し、知識・技能を適切に組み合わせ、それらを活用しながら問題を解決していくために必要となる思考。
- 必要な情報を選択し、解決の方向性や方法を比較・選択し、結論を決定していくために必要な判断や意思決定。
- 伝える相手や状況に応じた表現。

3)「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか(学びに向かう力、人間性等)」

上記の1)及び2)の資質・能力を、どのような方向性で働かせていくかを決定付ける重要な要素であり、以下のような情意や態度等に関わるものが含まれる。

- 主体的に学習に取り組む態度も含めた学びに向かう力や、自己の感情や行動を統制する能力、自らの思考のプロセス等を客観的に捉える力など、いわゆる「メタ認知」に関するもの。
- 多様性を尊重する態度と互いのよさを生かして協働する力、持続可能な社会づくりに向けた態度、リーダーシップやチームワーク、感性、優しさや思いやりなど、人間性等に関するもの。
- こうした資質・能力については、学習指導要領等を踏まえつつ、各学校が編成する教育課程の中で、各学校の教育目標とともに、育成する資質・能力のより具体的な姿を明らかにしていくことが重要である。その際、子供一人一人の個性に応じた資質・能力をどのように高めていくかという視点も重要になる。

教員による一方的な講義形式の教育と異なり、学習者の能動的な学習への参加を取り入れた教授・学習報の総称。学習者が能動的に学習することによって、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成を図る。

松原和之（コアネット教育総合研究所）

http://d.hatena.ne.jp/matsubara_corenet/

「問題解決型アクティブ・ラーニング」です。生徒が能動的、つまり授業における主体性をもっとも生徒側にある授業形態です。探究学習やPBL（Project Based Learning）などがここに含まれます。

2つ目は、「知識活用型アクティブ・ラーニング」です。一定の知識があることが前提で、それを活用して答えを導くようなスタイルの学習方法です。ある程度教師が授業を主導しますが、生徒の主体性も高い授業形態です。例えば、ディベート型授業やジグソー法などです。

そして、3つ目は、「知識習得型アクティブ・ラーニング」です。授業の主体性はだいぶ教師側にありますが、生徒も能動的に参加する授業形態です。授業内容を理解し知識を定着させるためにも、従来型の一方的な講義スタイルではなく、インタラクティブ（双方向）なスタイルをとった方が効果が上がるということです。

星の明るさと等級

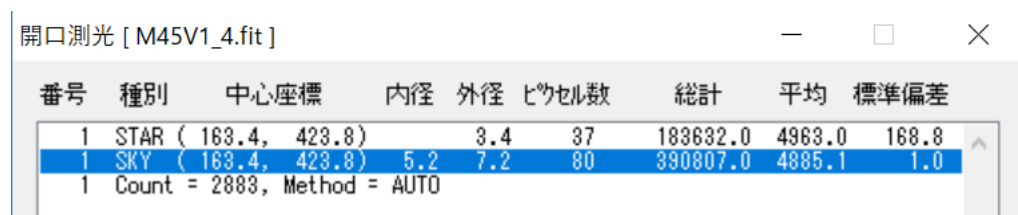
目的 ポグソンが定めた星の明るさと等級の関係を CCD（電荷結合素子）による光の量と等級を比較して確かめる。

道具 PC、画像解析ソフトマカリ、片対数グラフ

M45 の FITS 形式の画像（さじアストロパーク天文台撮像）

（1）マカリによる測光

- ①マカリを立ち上げて、M45 の画像（M45V1_4.fit）を開く。
- ②「レベル調整」機能を使って、M45 の画像を見やすくする。
- ③「測光」ボタンをクリックして、「開口測光モード」を選択する。
- ④星図を参照し、M45 の星を測光する。星の画像を囲むように、円形の測光カーソルを置き、位置を表す X、Y の値で星を確認してからクリックする。以下のようなデータを表示した測光ダイアログが開く。



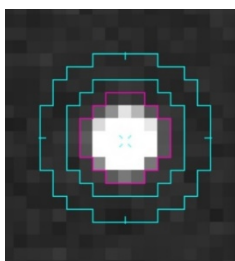
番号	種別	中心座標	内径	外径	ピクセル数	総計	平均	標準偏差
1	STAR	(163.4, 423.8)		3.4	37	183632.0	4963.0	168.8
1	SKY	(163.4, 423.8)	5.2	7.2	80	390807.0	4885.1	1.0

1 Count = 2883, Method = AUTO

測光ダイアログの例

*カウント値とは

下図は天体の画像の周辺を拡大したものである。一つの四角（□）をピクセルといい、画素の持つピクセル値（マカリの画面では座標 X, Y のカウント値）に応じて画面に明るさが与えられている。ピクセル値は観測装置のある画素にとどいた光子の量に比例する値が記録されていると考えてよい。図からは、天体からの光がいくつかのピクセルにまたがることや、天体以外の部分も空の明るさのせいでピクセルは値を持つことが読み取れる。



天体からの光を測定したいと思ったときに、天体の光で明るくなっている部分（赤い囲み）の値を合計するだけでは十分ではない。なぜなら、合計には空の明るさも含んでいるからである。そこで、天体からは充分離れていて天体の光の影響がないと思われる周辺のピクセル値（水色の囲み）で空の明るさも測定している。これをスカイという。

天体の正味の明るさを知るためにはスカイの影響を取り去る必要がある。

設問 1 なにか1個星を測光してみよ。前ページの図のように画面を充分拡大して、測光マークがピクセルを囲んだ様子が分かるようにする。測光ダイアログに示される値について、次の値はどのように算出されたのか、グループで相談しながら考えてみよ。

- Star 行のピクセル数、総計、平均

- Sky 行のピクセル数、総計、平均

- 上記の値を使って Count 行の Count 値を求める式を考えてみよ。

作業 開口測光ダイアログの3行目の「Count」の値を読み取り、表1「測光結果」のCount値の欄を完成させよ。天体の同定に星図と表の座標 X, Y を参考にせよ。

表 1

番号	X	Y	V 等級	Count値
①	288	444	5.76	
②	272	430	6.43	
③	370	401	4.30	
④	300	349	3.87	
⑤	323	333	7.22	
⑥	419	312	5.46	
⑦	108	305	6.83	
⑧	228	290	7.40	
⑨	413	222	3.70	
⑩	125	217	6.32	
⑪	110	211	2.87	
⑫	246	134	4.18	
⑬	348	181	8.05	
⑭	206	212	9.29	
⑮	159	156	8.36	
A	299	181	?	
B	328	398	?	

資料

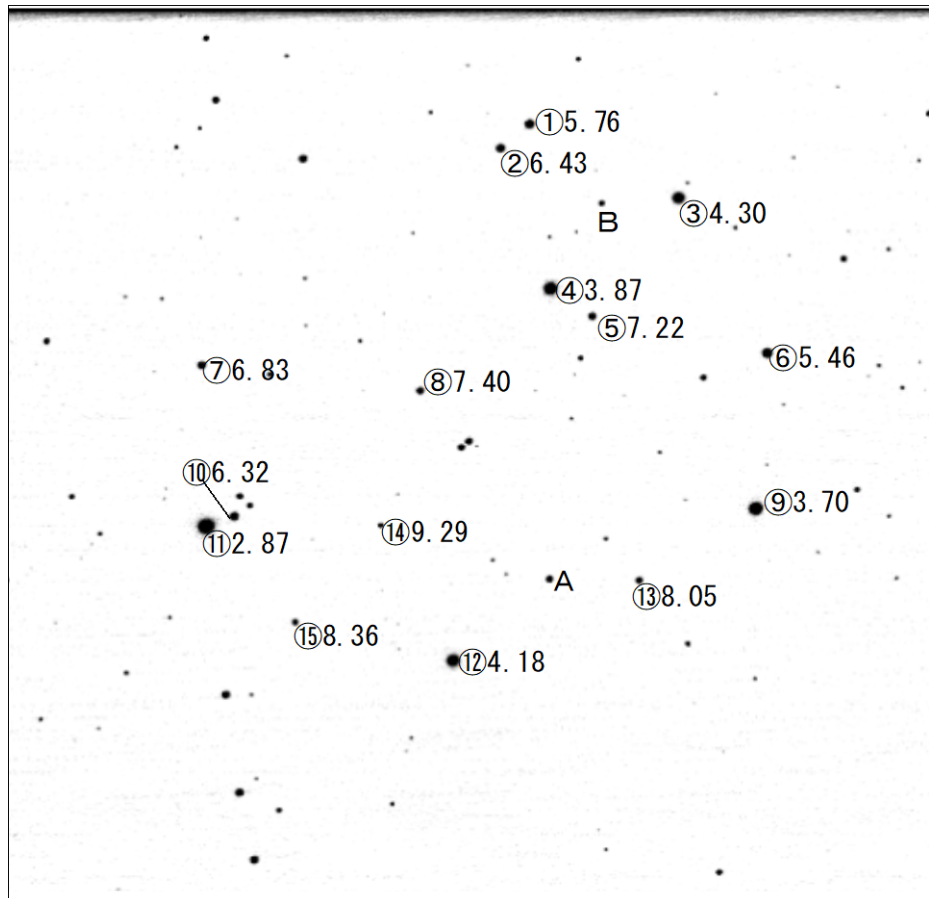


図1 M45 (プレアデス星団、日本名「すばる」) の測光用チャート