

JAHOU スペクトルカリキュラム

半田利弘（東京大学理天文センター）
JAHOU スペクトルカリキュラムワーキンググループ

1. はじめに

天文学の普及が深度化するにしたがって、単に、目で見えてすぐにわかるレベルの画像を提供するばかりでなく、測定や解析によって天文学の実情や実証性にまで及ぶ情報が流通することが求められるようになってきた。このような要望に応えられ得るデータ形式としては研究用として既に十分なデータ交換の能力と実績を持つ、FITS 形式が最適であることは、天文関係者の多くにとって明らかとすることができよう。

これには、データ解析の能力を有するだけのコンピュータが比較的廉価に購入できるようになったことと、研究者としての専門的技能を教授されていない人でも比較的容易に利用できる簡易整約ソフトウェアが普及し始めたことが大きな原動力となっている。

PAONET においても、その初期には、目で見えるための画像とそれに関連した解説文を配信することが目的であったが、現在は、その範囲を越えて、FITS 形式でデータを提供しようという動きとなっている。その対象として、これまで、主に想定されていたのは画像データである。

しかし、実際の天文学研究に於いて分光スペクトルに関連した情報は、むしろ画像データが含む情報を凌いでおり、分光スペクトルの情報なしには、今日の天文学の広がりを実証的に理解するのは不可能であるといっても過言ではない。画像データに対する測定までもが普及活動の一端として視野に入ってくればこそ、分光スペクトルだけが取り残されているというギャップがいっそう目立ってくる。

研究者以外の市民に対する広報普及活動において、分光観測については取り上げられることは、かなりまれであった。これは、画像情報ならば一般にも理解しやすいが分光スペクトルの理解には高度な専門的知識が必要と考えられてきたためであろう。しかし、先に述べたように現代天文学の知見の基礎に分光スペクトルがある以上、これを避けたままにしておくのは、「客観的な証拠によって誰でも理解しうる論理展開によって結論を導く」という“科学の基本”にもとることにもなりかねない。これは、天文学の前提としての“科学的方法論”の普及という観点からは放置するに任せておけない状況というべきであろう。

日本ハンズオンユニバース協会（以下、JAHOU と略記する）では、最新の天文学やその方法論に対する理解を深めるために米国で開発された教育プログラム HOU を日本流にアレンジしつつ普及に努めてきた。これは研究用とほぼ同じ方法で取得された観測データあるいは研究用のデータそのものを直接操作し、自ら発見の経験をすることが大きな特徴となっている。画像の処理や測定による天体情報抽出が主な内容となっていて、そこから、超新星や小惑星の発見につながる展開となっている。

そこで我々は、HOU の手法を踏襲しつつ、対象を天体分光学としたカリキュラムを具体的に作成することで、一般市民にも理解しうるための道筋のモデルを示すことにした。制作には、JAHOU 会員を中心としたワーキンググループを組織し、一部、会員外の方にも協力を仰いだ。ワーキンググループには天文研究者、学校教員、公共天文台職員、ボランティアなど、様々な立場の人々が含まれている。

FITS を教育普及に利用したいとする人には、天体分光学への導入教材の必要性を感じている人も多数いると考えられるので、我々の作成したカリキュラムの内容を、JAHOU に閉じることなく、ここで紹介することにしたい。

2 . 天体スペクトルを画像としてとらえる

天文普及関係の方の話の聞くと、これまで天体分光データが初心者向けに紹介されることが少なかったのは、その内容になじみが薄く、電磁気学や量子力学の学習が必須であると考えていたためであるように思われる。けれども、少なくとも歴史的には、これは正しくない。天体スペクトルの観測は、電磁気学や量子力学の学問体系が確立する以前から行われていたし、実際に、恒星スペクトルの MK 分類は物理学の専門教育を受けていなかった人によってなされている。

我々は、天体スペクトルを“画像の一種”としてとらえ、その特徴を比較することを内容の中心とすることで、電磁気学や量子力学の詳細に立ち入ることなく、天体分光学への導入を与えることは可能であると考えた。これは、一般向け書籍「宇宙スペクトル博物館シリーズ3部作」において既に試みられたアプローチである¹⁾。

今回、我々は、スペクトルを画像として示すだけでなく、それに HOU で示された画像測定によるデータの深い理解を結びつけ、FITS 画像形式で保存されている分光スペクトルデータを測定することを中心としてカリキュラムを作成した。

FITS の仕様は、最初の規定以来、様々な拡張が行われており、現在の最新規定では天文学で扱うほとんどすべてのデータを表現することが可能である²⁾。分光スペクトルデータについては、通常の画像とほとんど同じ形式で集録することができ、このようなデータならば、FITS を扱える画像処理ソフトで表示や測定を行うことができる。

そこで、天体分光学の理解に最低限必要な概念の紹介と、実際のデータを利用したテキストとを提供することで、初学者に天体分光学を理解してもらうことが可能な天体分光カリキュラムとすることができる。これが「JAHOU スペクトルカリキュラム」である。

3 . カリキュラムの基本哲学

我々は、天体分光学を理解するために必要な最低限の話題だけで全体のストーリーが展開できるようにし、他の外的制限の影響をできる限り受けないようにしたかったため、学校用の学習指導要領などは特に配慮せずに「JAHOU スペクトルカリキュラム」を作成した。したがって、主に、科学館・公共天文台での教室・講習会での利用や学校での課外授業での利用を想定したものとなっているが、教員による工夫次第で、学校での通常授業での利用も可能である。

この“カリキュラム”の特徴は、出来る限り「教える」ということを排除した点にある。これは、HOU が提供している天体画像処理を中心としたカリキュラムにも見られる特徴であるが、既存の学習教材やカリキュラムとは哲学的に大きく異なっている点である。本体である「ワークブック」には、“正解がない設問”も意図的に多数設定されている。これは、答えを得るための考察自体を重視し、自ら発見する過程そのものに重点が置かれているためである。天体分光学を知っている人ほどむしろ「これは何を答えとして求めているのだろうか?」「正解はなんなのだろうか?」と迷うかもしれない。また、「この法則やその値は重要だから知識として教えるべき」というものを記述していない場合もある。パラメータが今日の学術研究の結果得られている値と多少異なってもかまわないという立場である。値や法則自体を知識として伝達することよりも、その背景となる考え方や方法論を体験してもらうことの方が重要であり、それを通じて、自分で正否の判断ができることが重要であると考えたからである。さらに、発想の柔軟性を高め指導者・受講者が一体となって考えを巡らすこと、指導者にとっても毎回新しい発見や展開があり得るようにすることも重要だと考えたからである。ただし、あまりに手がかりがないと不安に感じる指導者もいることと、制作者が考慮した背景事情についての解説書として「ティーチャーズノート」を別冊で添付した。この点も HOU に倣っている。

また、データには誤差が含まれること、自然界を測定したデータは単純なモデルに完全に従うわけではないこと自体が科学的方法論を認識する上で重要であると考え、あえて、添付した

データをわかりやすいもの、関係が見いだしやすい代表的なものに限定することはしなかった。カリキュラムに添付した FITS データは、あくまでも、入手の便宜上、最初に試してみるためのサンプルであり、今後ますます容易に入手可能となるであろう研究機関などが発信する FITS データを自由に用いてもらいたいと考えたからである。

生徒同士が教え合う過程も重視した。これは教えること自体が理解を得るのに最も効果的だということを考慮した結果である。

これらを通りに実行するには相当な時間が必要である。全てのステップや過程において、これを完全に実行するのは時間的制約から不可能となることが多い。したがって、我々は、カリキュラムの全体をこの哲学で実行することを必須とはしないこととした。利用者が許容できる範囲では、なるべく、「教えない教育」を実行してもらいたいと考えはするものの、それができない部分については既存の学習方法で該当する内容を講義することで代替するのやむを得ないと考えている。このため「JAHOU スペクトルカリキュラム」は、直接利用するのが、一部の項目だけに限られてもかまわないとの立場で作成されている。

4 . 必要な道具

新規の概念を実感するためには講義形式だけでは不十分である。このため、「JAHOU スペクトルカリキュラム」は、実際に簡単な実験、および、実際のデータの観察と測定に主眼が置かれている。

実験については、「特殊な装置を使用することによる実験のブラックボックス化」をさけるため、実験に要する道具はできるだけ日常生活でも比較的容易に入手できるものを中心に考えた。入手が比較的困難と予想されるものについてはティーチャーズノートに購入先の例を記載した。

データ測定には、パソコンを利用して FITS データを表示・測定することになっている。教室などで実行する場合、1名に1台ずつのパソコンを用意できればよいが、数名に1台程度でも大きな支障はない。むしろこの方が、共同作業として相談しながら進めるというメリットが生じる場合もある。

使用するソフトウェアは、HOU-IP を使用した場合として記述されているが、昨今、広く流通するようになった FITS 画像表示・測定ソフトウェア、例えば、JIP, Makali'i, QFITS³⁾を利用して機能としては問題ない。あるいは、美星天文台の川端哲也によって開発されたスペクトルデータ処理ソフト BeSpec⁴⁾も利用可能で、FITS 画像処理ソフトを転用するよりも使用上の都合がよい点も多い。なお、JAHOU に於いては、FITS 処理ソフトの基本的な使用方法は HOU の既存のカリキュラムに含まれているため、「JAHOU スペクトルカリキュラム」では省略している。したがって、これらのソフトウェアの基本的な使用方法については別途、指導・教授する必要がある。

FITS データについては、標準添付の CD-ROM にワークブック中で具体的に指示したものが収録されている。けれども、「教えない教育」の哲学を真に生かすならば、指導者にとっても発見的であることが重要であり、標準添付のデータの代わりに同種のデータファイルを公共天文台や学術研究機関のアーカイブから入手して適宜差し替えるなどの変化がある方が望ましい。指導者があらかじめ用意したデータについてだけ正しい結果が得られるという印象を持たれるのも科学的とはいえないからである。

せっかくパソコンを利用するのであれば、グラフ化や計算には、表計算ソフトなど市販されているものを積極的に利用するのもよいだろう。これによって、多少、時間効率を向上させられる可能性もある。もちろん、筆算とグラフ用紙とを利用することでも全く問題はない。

5 . 内容とポイント

カリキュラムの内容は、全体を通して、「スペクトルから天体のどのようなことがわかるのか」

が理解できるような展開とした。4章構成で、導入としての基礎概念の紹介、天体の構成元素とスペクトルの関係、物理状態とスペクトルとの関係、天体の運動とスペクトルとの関係をそれぞれ紹介する内容となっている。それぞれの章のなかで、概念的なまとまりを持ったテーマとして12を採用し、それらを1節ごとに記述した。ただし、標準的に所要とする時間については特に配慮していないので、節によって要する時間の長短はまちまちである。

具体的内容を概観するために、以下に「JAHOU スペクトルカリキュラム」の目次を掲げる。

- 第1章 導入「色で広がる新しい世界」
 - 1-1. 虹を見てみよう
 - 1-2. 何がわかるのだろうか？
 - 1-3. 光と波
 - 1-4. 運動とドップラー効果
- 第2章 分光と組成「虹で見る物質の指紋」
 - 2-1. 恒星のスペクトル「星の虹を見てみよう」
 - 2-2. 天体は何からできている？
 - 2-3. 星雲のスペクトル「星雲の虹を見てみよう」
- 第3章 分光と温度「虹は温度計」
 - 3-1. 恒星のスペクトルと温度
- 第4章 分光と運動「光の速度計」
 - 4-1. 太陽の自転
 - 4-2. 銀河の回転
 - 4-3. 宇宙膨張
 - 4-4. かに星雲の膨張速度を測ろう

全体を通じて「光やその波長の認識」「光のドップラー効果」からスタートしつつ、銀河の運動や宇宙膨張などといった、天文学研究の一線に近いテーマまでが連続的になるような内容となっている。

第1章のテーマは、既存の教材でも取り上げられることの多い内容ではあるが、人間の色彩認識と光の性質としての色とが異なる概念として意識されるような説明を心がけた。また、光のドップラー効果が日常生活ではなぜ認識されないのかなど、過去に生じた問題点を解消すべく、表現・解説方法には従来のものとはひと味違った説明方法を採用している。

第2章では、具体的に恒星スペクトルの類似性や連続性などを感じ取ってもらうために、スペクトル型が冗長なサンプルが意図的に含まれている。先にも述べたように、必要最小限のデータに限ることは科学的方法論の実証性と反するところがあるためである。

第3章以降についても、従来の類似教材とは意図的に異なったアプローチを取ったものが多い。第4章では、可視光以外の天体データへの導入もかねて、電波天文学のデータも取り上げている。

6. 入手法と将来展望

「JAHOU スペクトルカリキュラム」は、現在、第1版を完成し公開している。ただし、印刷経費を捻出することが難しかったため、基本的な配布形態はPDFによる電子版となっている。今年のPAONET ユーザーズミーティングで配布されたCD-ROMにも収録されている。また、以下のURLでインターネット上でも公開している。こちらは、改訂が実施された場合には随時更新される予定である。

<http://jahou.riken.go.jp/wg/SpCurWG/>

利用に際しては特に資格制限などは設けないので、JAHOU 会員に限らず、どなたでもご利用いただきたい。

なお、我々は現在の「JAHOU スペクトルカリキュラム」がある水準を十分に満たした完成品だとは考えていない。実践も不十分であり、実行に際しては多数の問題点が見つかることだろうと予想している。これらの問題点は、随時改良することで解決してゆきたいと考えている。また、具体的な天文学のテーマを取り上げている部分では、他の様々な具体例を追加していくべきだろう。「JAHOU スペクトルカリキュラム第1版」は、そのひな形として公開したものである。したがって、利用された際の利点・問題点・改良案・追加テーマの提案などを積極的にご連絡頂きたい。そして、できるだけ、第2版以降の制作にも加わって頂きたいと考えている。これら改良・拡充の結果は、上記 URL を通じて、今後も積極的に公開していきたい。

また、実際に様々なデータを操作することがカリキュラムの根本に関わるポイントであるため、利用可能な FITS データが具体的に増加していくことも極めて重要である。十分な数がそろってきたら、それを提供するサーバーやリンク集などの設定も配慮すべきだろう。データの数が増加することで量的関係の精度が向上することは研究の場でも、しばしば経験することである。この点で PAOFITS の活動は我々の目的と表裏の関係にある。

JAHOU が日本に導入した HOU カリキュラムは、現在、世界各地に広まりつつある。それらの国々の参加者からも天体分光学を対象としたカリキュラムを望む声は強く、具体的に「JAHOU スペクトルカリキュラム」の内容公開が望まれている。このため、現在、「JAHOU スペクトルカリキュラム国際版」とすべく、第1版の英訳作業が進んでいる。これが完成するとフランスおよびドイツの HOU メンバーによってフランス語版とドイツ語版が制作されることになっている。このように世界的広がりを持つことになればこそ、それにふさわしい内容に拡充すべきと思っている。

利用とその報告と拡充が好循環して、やがて標準的なカリキュラムに進化してほしいものと我々は考えている。皆様のご協力を改めてお願いするものである。

なお、フィードバック、提案、問合せなどには以下のメールアドレスをご利用いただきたい。
spectrum@jahou.riken.go.jp

参考文献

- 1) 粟野ほか、1999、「宇宙スペクトル博物館 X 線編」、「同電波編」、「同可視光編」：裳華房
- 2) 天文情報処理研究会、2001、「FITS の手引き」
- 3) JIP については、<http://paofits.dc.nao.ac.jp/JIP/> 参照。Makali'i については本集録にて紹介あり。QFITS については <http://jahou.riken.go.jp/~koike/QFITS/> 参照。
- 4) BeSpec については、<http://www.town.bisei.okayama.jp/bao/soft/bespec> 参照。