

## 音声グラフ表示ソフトウェア **splot** を用いたスペクトル認識の可能性

～ 宇宙科学データ可聴化プロジェクト (4)～

宇野 伸一郎<sup>\*1</sup>, 外谷 渉<sup>\*2</sup>, 三浦 昭<sup>\*3</sup>

## Possibility of spectrum recognition using a sound-based data-plotting program, **splot**.

～ Astronomical Data Sonification Project (4)～

Shin'ichiro UNO<sup>\*1</sup>, Sho SOTOYA<sup>\*2</sup>, Akira MIURA<sup>\*3</sup>

### Abstract

Astronomical Data Sonification Project has been developed a sound-based data-plotting program, **splot**, to construct data analysis environment for visually impaired. Now we developed a sound-based user interface for spectral analysis tool named **splot-for-xspec**. Xspec is a widely used software for spectral analysis developed by NASA HEASARC. **Splot-for-xspec** is a tool to link **xspec** and **splot**. We also made a small survey in order to confirm the utility of the **splot-for-xspec** system, and we showed the possibility that one can recognize a spectrum without visual information. We are aiming to sonify the entire data analysis process.

### 概要

宇宙科学データ可聴化プロジェクトは、視覚障害者が X 線天文学を学び、実際のデータ解析をする環境を構築するため、音声グラフ表示ソフトウェア **splot** を開発してきた。今回我々は、スペクトルフィッティングを音声によって操作する環境 **splot-for-xspec** を構築した。**xspec** は、広く使われているデータ解析ソフトウェアで、NASA HEASARC が開発したものである。**splot-for-xspec** は **xspec** と **splot** の連携を行うツールとなる。さらに、我々は **splot** および **splot-for-xspec** によるグラフ認識の有効性を確認するため、小規模な調査を行った。その結果、音によるデータ比較・スペクトルフィットはひとつの手段となりうると考えられる結果が得られた。今後は音声化できる情報のみでデータ解析プロセス全体を行えるようにすることが課題である。

---

doi: 10.20637/JAXA-RR-16-007/0002

\* 平成 28 年 11 月 24 日受付 (Received November 24, 2016)

<sup>\*1</sup> 日本福祉大学健康科学部 (Nihon Fukushi University, Faculty of Health Science)

<sup>\*2</sup> 株式会社ラック (LAC Co., Ltd.)

<sup>\*3</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 (Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science)

# 1 導入

視覚障害者の情報保障は、福祉工学の重要なテーマのひとつである。近年では STEM (Science Technology Engineering and Mathematics) 教育が重要視されており、障害者の教育においても、STEM 分野に力点が置かれてきている<sup>1)</sup>。特に STEM 分野は、情報機器などを活用すれば障害者が独立して活躍できる領域が多く、そのための教育や環境整備が望まれ、様々な開発が行われている。

## 1.1 視覚障害者の図表認識

視覚に頼らないで図表を認識することは大きな困難が伴う。視覚障害者が図表を認識する方法としては、1. カプセルペーパーやドットプリンターなどを用いて紙上に立体パターンを作って手で触ることができるようにする方法や、2. 点字表示機能のあるピンディスプレイなどを用いて機械的に表現する方法などが用いられてきた。

しかし、紙にパターンを作成する方法は、作成に時間がかかったり、細かいものが表現しづらいといった問題がある。また、ピンディスプレイ等の機械は高価で、表示できる面積も狭い。さらにピンディスプレイは重いので可搬性に乏しく、専用のドライバーが必要となるため、特定のプラットフォーム上でしか稼働できないといった問題がある。

## 1.2 視覚障害者の情報利用環境

視覚障害者がパーソナルコンピュータを用いる場合、音声読み上げソフトウェアを用いている場合が多い。音声読み上げソフトウェアは主にテキストデータをコンピュータに音読させる機能をもっている。

また、音声読み上げソフトウェアは様々なアプリケーションも音読することができ、emacs などのエディタ、メール、ウェブ、ワープロ文書や、文字の埋め込まれた pdf、表計算文書などの読み上げを行う。同じように、データ解析を行ったり、コンピュータを管理する場合に必須となるコマンドターミナルも、音声読み上げソフトウェアによって読むことができる。

なお、コマンドターミナルなどでは大量のログが流れる場合があるが、これら全てを読み上げていると時間が浪費されるため、適宜必要なテキスト情報を視覚障害者自身が選択して読み上げさせている場合が多い。また、熟練した視覚障害者は非常に速い速度でこれらの音を聞き分けることができる例がある。

## 1.3 X 線天文学のデータ解析

X 線天文衛星のデータを解析する場合、衛星の取得した元データの整形、イメージや観測時間など様々な条件によるデータの取舍選択、検出器の応答関数のかけあわせ、理論モデルとの比較、など様々なプロセスを行う必要がある。

これらの解析を行うソフトウェアは、コマンドラインでのインターフェースと結果表示のグラフィカルなインターフェースを持っていることが多い。そのうち、スペクトル解析をする場合は、次に述べる qdp, xspec というソフトウェアを用いる。

## 1.4 qdp

QDP (The Quick and Dandy Plotter) は、アメリカ航空宇宙局 (the National Aeronautics and Space Administration: NASA) 高エネルギー天体物理学 科学アーカイブ研究センター (The High Energy Astrophysics Science Archive Research Center :HEASARC) <sup>2)</sup> が開発、配布するグラフ表示ソフトウェアである <sup>3)</sup>。テキストファイルに書かれたデータを読み込み視覚的なグラフに表示する。一次元ヒストグラムだけでなく、散布図やコントアなども表示可能である。コマンドターミナルから、インタラクティブに操作することもできるし、一連のコマンドとデータを記したファイルを読み込んでグラフを作成することもできる。

## 1.5 xspec

xspec は、NASA HEASARC が開発・配布する、スペクトルフィッティングツールである <sup>4)</sup>。X 線天文学におけるスペクトル解析ツールのデファクトスタンダードとなっている。2016 年 6 月現在、バージョン 12.9.0n がリリースされている。xspec は、複数のプラットフォームに移植されており、Linux, mac, windows 等で稼働させることができる。

一般的な使用方法をする場合、ユーザインターフェースは、主にふたつのウィンドウからなり、片方がコマンド入力等のためのテキストターミナル、もうひとつが、スペクトル等のグラフを画像表示するウィンドウである。操作は、主にテキストターミナルのコマンドラインからコマンドを入力することで行うが、一連の指示をファイルに保存しておいて、ファイルから指示を読み込むことも可能である。また、xspec はスペクトルフィットを行うためのツールであるが、画像表示部分は外部プログラムと連動する形でかかれており、デフォルトでは qdp が画像の整形などを行うようになっている。また、グラフデータファイルも、デフォルトでは qdp の形式で保存される。

## 1.6 宇宙科学データ可聴化プロジェクト

宇宙科学データ可聴化プロジェクトは、日本福祉大学 健康科科学部 宇野研究室 と宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所の 2 機関が共同で推進するプロジェクトで、宇宙科学データを視覚に頼らずに視覚に障害のある人達に伝えることを目指している。

本プロジェクトは、これまでに宇宙科学データを音声化する表現手法の検討を行い、X 線パルサーやバーストのデータの音声化 <sup>5)</sup> や、地磁気擾乱の程度を示す Kp 指数などの音声化を行った (<http://handy.n-fukushi.ac.jp/pub/uno/music/>, <http://www.isas.jaxa.jp/home/showcase/music/>)。また、プロジェクトは音声グラフ表示ソフト splot の試作を行った <sup>6), 7)</sup>。

## 1.7 音声グラフ表示ソフトウェア splot

splot は、宇宙科学データ可聴化プロジェクトが開発したグラフ音声化ソフトウェアである <sup>6)</sup>。

splot は一次元ヒストグラムについて、x 軸を時間、y 軸を周波数 (音程) に対応させることで、グラフの情報を音として表現する機能を有している。通常のグラフプロットツールと同じように splot は指定された領域に含まれるデータを表現するが、ディスプレイ上に画像を表示する代わりに splot はデータを時間 (x) と周波数 (y) に置き換えた音を出力する。x 軸の表示範囲は出力音継続時間に相当し、デフォルトでは 5 秒に設定してある。この時間は可変となっており、大量のデータを聞く時は短く、細かいデータを聞き取る時は長く、と使い分けできるようになっている。データの y の値は周波数に相当し、デフォルトではピアノ中央

の3オクターブ分の音(最小値  $f_{min}=220$  Hz から最大値  $f_{max}=1760$  Hz)の間を使っている.  $f_{min}$ ,  $f_{max}$  はユーザが設定可能で, 視聴覚の多重障害などの場合にも, 聞こえる周波数に音を絞れるように設計されている.

splot の入力は X,Y 形式のテキストデータで, 複数カラムのデータも扱うことができる. splot の操作はコマンドラインからインタラクティブに行うこともできるし, 一連のコマンドとデータを記したファイルを読み込むことでもできる. また, qdp とコマンドが一部互換性を保つように設計されている. このため, xspec など他のソフトウェアから生成されたファイルであっても, qdp 形式で書かれた一次元ヒストグラムであれば, splot で音声出力可能となっている(qdp はコントアなど一次元ヒストグラム以外のものも扱う).

## 1.8 視覚障害者の X 線天文学データ解析環境

視覚障害者が X 線天文学データを解析しようとした場合, データ選択, グラフ認識, 画像認識など, 様々な事を行わなければならない. データ解析の大きな部分を占めるスペクトル解析でも, xspec や qdp といったソフトウェアの出力するグラフを解釈することは必須となる. しかし, これらは音声化等の対応はされていない. splot は, テキストデータの音声化は可能であるが, xspec との連携はとれておらず, splot 単体ではスペクトル解析まで行うことはできない. 視覚障害者の X 線天文学データ解析環境を構築しようとする場合, スペクトル解析プロセスを音声化することが必須となる.

本研究では, X 線天文学データ解析ツール xspec と splot の橋渡しを担う, splot-for-xspec の試作を行い(本稿 第 2 章), さらに, これを用いて得られる音データの有効性の確認を行った(本稿 第 3 章). これらの結果を踏まえ, 本稿 第 4 章で, 視覚障害者の X 線天文衛星のデータ解析環境構築の可能性について論じる.

## 2 開発

### 2.1 splot-for-xspec

我々は, 視覚に依存しないスペクトルフィッティング環境を構築するため, 「xspec と splot を連動させるためのソフトウェア splot-for-xspec」を試作した.

splot-for-xspec は, perl スクリプトと xspec の設定ファイルからなり, 通常 xspec が画面表示するグラフを, splot により音声出力する. splot-for-xspec は, xspec の「ユーザー作成コマンド」のひとつとして機能する. このためユーザは, 音声出力の時だけ splot-for-xspec のコマンドを用い, それ以外の時は xspec 本体をそのまま使うことになる.

splot は, テキストデータを読み込み, x 軸を継続時間に, y 軸を音程にそれぞれ対応させて音を発生させる. データ点  $(x_n, y_n)$  がある場合,  $x_n$  に対応する時刻  $t_n$  は

$$t_n = \frac{(x_n - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \times t_{max}$$

である. ここで,  $x_{min}$ ,  $x_{max}$  はそれぞれ X 軸プロット範囲の最小値, 最大値,  $t_{max}$  は出力音継続時間である. また, 出力音の周波数  $f_n$  は,

$$f_n = f_{min} \times 2^{\left(\frac{(y_n - y_{min})}{(y_{max} - y_{min})} \times \log_2 \frac{f_{max}}{f_{min}}\right)}$$

となる. ここで,  $y_{min}$  と  $y_{max}$  は y 軸の表示範囲,  $f_{min}$  と  $f_{max}$  は対応させる周波数である.

xspec を使う場合、コマンドを入力するコマンドターミナルと、結果を表示するグラフィカルなウィンドウの2つを使用する。視覚障害者が xspec を使用することを想定する場合、まず、コマンドターミナルについては、音声読み上げによる対応となる。コマンドターミナルの音声化自体は、複数の OS において複数のソフトウェアが用意されている。また、音声読み上げを別 PC (通常利用している Macintosh や Windows などのターミナルエミュレータなど) から稼働させ、リモートログインした unix 上で xspec / splot を動作させるということもありうる。このため、splot-for-xspec では、利用者は各自が使っているテキスト読み上げシステムをそのまま使う事を想定している。

xspec の画像表示ウィンドウは、コマンドターミナルから操作する。通常は、データの読み込みやエネルギーバンドの選定やフィッティングなど、一連の操作をした上で、画像を表示する手順となる。画像表示は、通常は「plot」というコマンドで行う。splot-for-xspec はこのコマンドを置き換えて音声表示を行う。ただ、xspec の視覚的なスペクトルフィットのグラフは、データ・モデル・残差が混在し、単純に音声化できる形にはなっていない。このため、これらを分解して音で認識できる形にするのが splot-for-xspec の役割のひとつである。

xspec のスペクトルフィットの表示は、主に上下2段にわかれた2つの画像からなり、上の段にデータとモデルが、下の段に残差が表示される。これらの組み合わせにより解析者は理論モデルとデータの特徴を素早く認識することができている。視覚障害者の場合、これら3つの情報を同時に得ることはできない。このため、データ、モデル、残差それぞれを別々に聞く必要がある。具体的には、splot-for-xspec は以下の各プロセスを半自動で行うように設計されている。

1. 表示されているスペクトルを qdp 形式のファイルとして保存する
2. qdp 形式のファイルから、「データ」「モデル」「残差」などのデータを抜き出してバックグラウンドで走る splot に渡す
3. splot で音声表示する。(場合によっては何度か繰り返す、部分拡大して表示するなど、複数の作業を行う)
4. splot を終了して xspec に戻る

用意したコマンドは以下の通りである。これらは、xspec の設定ファイルにより定義されている。なお、xspec では、複数の検出器、複数のモデル等々をひとつの画面に表示することに対応しているが、現時点では splot は対応していない。

- splot\_model : モデルのみ発音
- splot\_residual : 残差のみ発音
- splot\_data : データのみ発音
- splot\_all : データ・モデル・残差各々を順に発音

### 3 検証

音によるグラフ認識・フィッティングが現実的に可能であるか確認するために、我々は小規模な調査を行った。調査は4つの大問からなり、どの質問も、基準音となるグラフの音を聞いた後にもう一つの評価音を聞いて、その音が基準音とどう違うかを問うものとなっている。大問1,2では結果は5段階評価をするものと



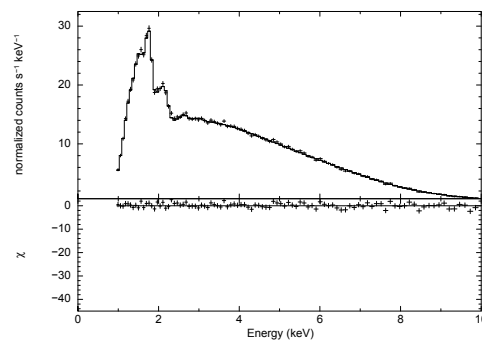


図 1: 基準とした べき 1.4 のスペクトルの例. 上段の実線がモデル関数. + 印がモデル関数から擬似的に生成されたデータ点. 下段はモデルとデータの差.

し, 大問 3,4 ではフリーハンドでグラフを描くものとした. 被験者はどのような音が表示されるのか知らされずに, 基準音と評価音を一度ずつ聞いて各問にこたえた. 全ての質問において音の継続時間は 5 秒とし, y 軸の値に相当する周波数は, 最小値, 最大値をそれぞれ  $f_{\min} = 220\text{Hz}$  と  $f_{\max} = 1760\text{Hz}$  とした.

音は主に X 線天文衛星すざくのスペクトルを模擬したものを xspec で作成し, splot-for-xspec を用いて音表示したものを用いた. また, この他に大問 3 では,  $y = x^2$  などの単純な関数のものを splot で音表示した. 調査は 2016 年 6 月 8 日に日本福祉大学において晴眼の日本人学生を対象に行われ, 43 名から有効回答を得た (男 : 女 = 36 : 7, 平均年齢  $19.6 \pm 1.5$  歳).

なお, 実際にどこまで精密に聞き取りができるかは, 個人差が大きく影響することが想定される. このため本調査では認識の限界を求めるのではなく, グラフの概形がある程度の範囲の人に認識できることを確認する事を目的とした.

### 3.1 調査結果 1: 差異の認識 1 (連続成分)

大問 1 では, グラフ中の x 軸の広い範囲での変動を聞き取れるか否かの確認をスペクトルの連続成分の変化を用いて行った. スペクトルは X 線天文衛星すざくのものを用い, モデルはべき関数に吸収のかかったものとした. スペクトルパラメータは, ノーマライゼーションと吸収水素柱密度は 1.0 に固定し, べきの値だけを変化させた. エネルギーバンドは 1.0 keV から 10.0 keV の範囲とした.

このうち, べき 1.4 のものは, 大問 1,2,4 で基準音に用いた. べき 1.4 の基準音のスペクトルを図 1 に示す. 上段がスペクトルのデータとモデル, 下段が残差を示している. スペクトルは X 線天文衛星すざくの応答関数が含まれる形で表示されるため, べき関数も単純な直線ではなく図 1 に示されるような形になっている. データ点はべき 1.4 のモデル (実線) から擬似的に生成したもので, 「+」記号で描かれている. スペクトルの基準音はモデルを, 残差の基準音は擬似生成したデータとモデルの差分を用いた.

通常 xspec は, データ・モデルは X 軸 Y 軸ともに対数軸で表示するが, 本調査では対数表示ではなく線形表示としたものを音声化した. これは, 調査の際, 特にグラフ記入時に対数表記での混乱を避けるための措置である. また, 後の図との比較のため残差のプロットの y 軸範囲は大きくとってある.

大問 1 は小問 a~d の 4 つの小問に分かれている. 小問 a 及び小問 c では, 基準音はべき 1.4 のスペクトルとし, 評価音は小問 a ではべき 1.3, 小問 c ではべき 1.0 のスペクトルとした. また, 小問 b 及び小問 d では, 小問 a 及び小問 c それぞれの残差のプロットの差異を問うた.

各問は、ひと組の音を聴き比べてその音に差があるか否かを5段階評価で答えてもらう形式とした。y軸の範囲は、スペクトルは0.68から32.5まで、残差は-45.0から3.0までで、このy軸の範囲は大問2,4も共通である。

小問a,bに用いたスペクトルの例を図2左に、小問c,dに用いたスペクトルの例を図2右に示す。

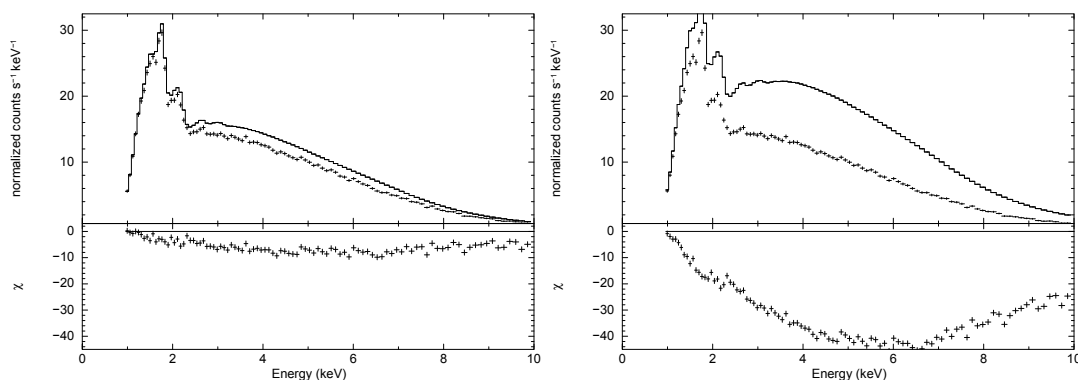


図2: べき1.3(左)と1.0(右)のスペクトルの例。上段の図の+印が基準音となるべき1.4のスペクトルデータ(図1と同じ)。実線がべき1.3と1.0それぞれのモデル関数。下段はデータとモデルの差。

### 3.1.1 結果

表1に大問1,2の集計結果を示す。a-d欄のa,bがべき1.4と1.3のスペクトルと残差を聴き比べた結果、c,dがべき1.4と1.0のスペクトルと残差を聴き比べた結果である。小問aで、べき1.4と1.3の違いを聴き比べた所、「同じ」もしくは「どちらかといえば同じ」との回答が21人(49%)、一方、「違う」もしくは「どちらかといえば違う」との回答が18人(42%)と、ほぼ拮抗していた。図2(左)程度のスペクトルの差異は、音表示では明確には聞き取り辛いことがわかる。

一方で、同じべき1.4と1.3のスペクトルも、小問bの残差を聞き比べた場合には、43人中42人(98%)が「違う」もしくは「どちらかといえば違う」と答えており、ほぼ全員が差異を認識できている。

べき1.4と1.0のスペクトルを聴き比べた所、こちらは35人(81%)が「違う」もしくは「どちらかといえば違う」と答え、残差を聞き比べれば43人全員が「違う」もしくは「どちらかといえば違う」と答えた。

## 3.2 調査結果2:差異の認識2(輝線)

大問2では、グラフ中の部分的な変動を聞き取れるか否かの確認をおこなった。質問形式は、大問1と共通とした。

大問2は小問e~hの4つの小問に分かれている。基準音は、大問1と共通の、べき関数に吸収のかかったモデルを用いた。べきは1.4のものを用いた。評価音は基準音のスペクトルに、6.4keVにガウシアンを挿入した。ガウシアンは、 $\sigma$ も0.1に固定し、ノーマリゼーションを0.005(小問e,f)と0.02(小問g,h)の2通りとした。小問e,fに用いたスペクトルの例を図3(左)に、小問g,hに用いたスペクトルの例を図3(右)に示す。

表 1: 基準音 (べき 1.4) ・ 評価音 (べき 1.3 および 1.0) の差異の評価  
(人)

|              | 大問 1 |    |    |    | 大問 2 |    |    |    |
|--------------|------|----|----|----|------|----|----|----|
|              | a    | b  | c  | d  | e    | f  | g  | h  |
| 1 違う         | 5    | 36 | 18 | 42 | 2    | 22 | 20 | 33 |
| 2 どちらかといえば違う | 13   | 6  | 17 | 1  | 5    | 11 | 12 | 6  |
| 3 わからない      | 4    | 0  | 1  | 0  | 5    | 0  | 3  | 0  |
| 4 どちらかといえば同じ | 14   | 1  | 4  | 0  | 15   | 5  | 5  | 3  |
| 5 同じ         | 7    | 0  | 3  | 0  | 16   | 5  | 3  | 1  |

a: べき 1.3 スペクトル, b: べき 1.3 残差, c: べき 1.0 スペクトル, d: べき 1.0 残差, e: ガウシアン (norm 0.005) スペクトル, f: ガウシアン (norm 0.005) 残差, g: ガウシアン (norm 0.02) スペクトル, h: ガウシアン (norm 0.02) 残差

### 3.2.1 結果

表 1 の e-h 欄のうち e,f がノーマリゼーション 0.005 のガウシアンを入れた場合のスペクトルと残差を聴き比べた結果, g,h がノーマリゼーション 0.02 のガウシアンを入れた場合ののスペクトルと残差を聴き比べた結果である。

ノーマリゼーション 0.005 のガウシアンが入ったスペクトルを聴き比べたところ 31 人 (72%) が「同じ」または「どちらかといえば同じ」と答えた。一方, 同じ 0.005 のガウシアン of スペクトルでも, 残差を聴き比べると 33 人 (77%) が「違う」または「どちらかといえば違う」と答えている。

また, 比較として, ノーマリゼーション 0.02 のガウシアン of 聴き比べも行った。こちらはスペクトルを聞いて 32 人 (74%) が, 残差を聞いて 39 人 (91%) が「違う」または「どちらかといえば違う」と答えた。

## 3.3 調査結果 3: グラフの概形の認識

大問 3 は, 大問 1,2 と違い「聞いた音をフリーハンドでグラフに書く」ものとした。これにより差があるか否かだけでなく, どのくらいの差を感じているかということが, おおまかに評価される。

大問 3 は小問 i~k の 3 つの小問に分かれている。大問 3 では, 関数  $y = x$  を基準音として, 3 つの評価音  $y = \frac{1}{4}x$  (小問 i),  $y = 2x$  (小問 j),  $y = x^2$  (小問 k), の 3 つの関数をグラフ上に記入してもらった。各関数は  $0 \leq x \leq 2$  の範囲の音を鳴らし, 記入欄のグラフ用紙は,  $0 \leq x \leq 2, 0 \leq y \leq 4$ , の範囲のものを用意した。ただし, 用紙にグリッドはあるが, 軸メモリには数値を記入していない。用紙には, 参照用に基準音の線が記入しており, 被験者はこれを見ながら評価音を書き込んだ。

### 3.3.1 結果

$y = \frac{1}{4}x$  を記入する小問 i では, 43 中 39 枚 (91%) の回答が  $y = x$  よりも下に線を記入しており, そのうち直線は 36 枚 (84%) だった。ただし, 直線の傾きは相対的に大きく, 一番多かった回答は  $y = \frac{1}{2}x$  の線の 22 枚 (51%) だった。また, 傾きが 1 を越えていた例は 4 例あり, 直線でなかった例は 3 例あった。



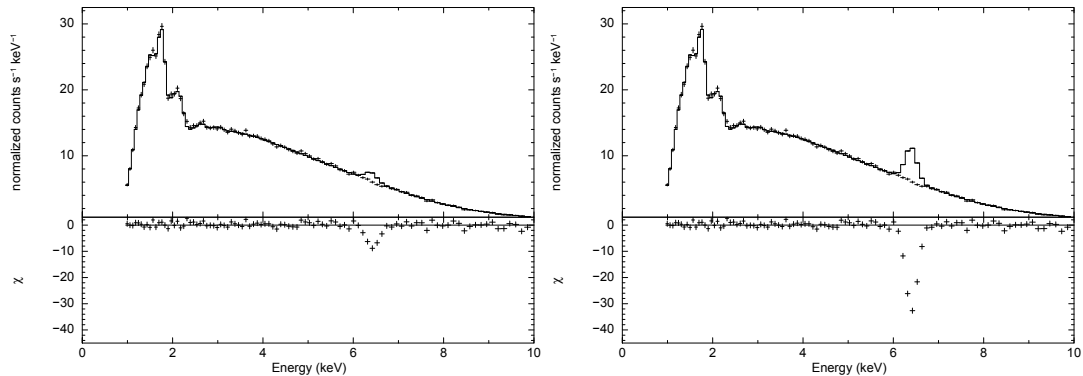


図 3: べき 1.4 のスペクトルにガウシアンを入れた例. ノーマリゼーション 0.005 (左) と 0.02 (右) 上段の図の + 印が基準音となるべき 1.4 のスペクトルデータ (図 1 と同じ). 実線がガウシアンをいれたモデル関数. 下段はデータとモデルの差.

$y = 2x$  を記入する小問 j では, 43 枚全ての回答が  $y = x$  よりも上に線を記入しており, 直線は 42 枚だった. また, 直線の傾きも  $y = 2x$  に近いものが多く,  $y = 2x$  が 10 枚,  $y = (7/4)x$  が 19 枚と, このふたつだけで 67% を占めた. 直線でなかった 1 例は下に凸の形をしていた.

$y = x^2$  を記入する小問 k では, 43 枚全ての回答で, グラフ右端で  $y = x$  よりも上に線が到達していた. このうち, 直線を記入した例は 16 例 (37%) あり, 下に凸の曲線は 16 例 (37%), 下に凸の折れ線は 11 例 (26%) あった. 上に凸の回答はなかった.

グラフの終端 (右端) の  $y$  の値を見ると,  $y > 2$ : 4 例,  $y = 2$ : 12 例,  $y = 7/4$ : 9 例,  $y = 3/2$ : 12 例,  $y = 5/4$ : 5 例,  $y = 1$ : 1 例, で, 正解の  $y = 2$  に到達している例が最大数ではあるものの, 回答には幅があるようすが見える.

全体として下に凸だということまでは聞き取ったが, 曲線であることは分かり辛かったことがわかる. また,  $y$  の正確な値は掴みづらく, 50% から 200% 程度の認識のずれがあることがわかる. 一方で, 回答の中には  $y = x^2$  に近い例 (グラフ中央で  $y = x$  と交差, グラフ用紙右上に到達, など) もあった. 図 4(左) に基準音  $y = x$  と評価音  $y = x^2$  を示す. 比較用のため軸メモリをつけていないが,  $x$  軸の範囲は 0 から 2,  $y$  軸の範囲は 0 から 4 である. また, 図 4(右) に  $y = x^2$  (小問 k) に対する解答例を示す.

### 3.4 調査結果 4: スペクトルの概形の認識

大問 4 では, 複雑なスペクトルが聞き取れるかの確認を行った. 基準音は, `splot-for-xspec` の出力を使い, モデルはべき 1.4 のべき関数に吸収のかかったものとした. べき関数のべきは 1.4 とし, ノーマリゼーション, 吸収は両方とも 1.0 とした. これらのパラメタは大問 1, 2 と同じである.

評価音は, 基準音のスペクトルに輝線構造を想定したガウシアンをいれたものとした. ガウシアンのパラメタは, 中心エネルギー 6.4keV,  $\sigma = 1.0$ , ノーマリゼーション 0.05 とした. これに加え, 吸収の水素柱密度を 1.0 から 2.0 へと変化させた. これにより, 1keV 近辺の  $y$  軸の値と, 高エネルギー側 (6.4keV) にある輝線の  $y$  軸の値が同程度となった. 図 5(左) に, 基準音, 評価音を示す.

スペクトルは  $x$  軸  $1 \leq x \leq 10$ ,  $y$  軸  $0.68 \leq y \leq 32.5$  の範囲のデータで, これは, 大問 1, 2 と共通としてい

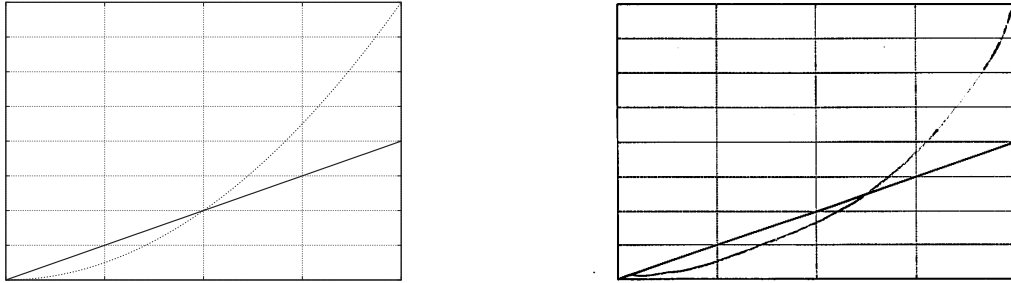


図 4: 左: 大問 3-小問 k の基準音 (実線  $y = x$ ) と評価音 (点線  $y = x^2$ ) 右:大問 3-小問 k ( $y = x^2$ ) を手書きで書き込んだ回答例.  $y = x$  の直線は最初から解答用紙に印刷されている.

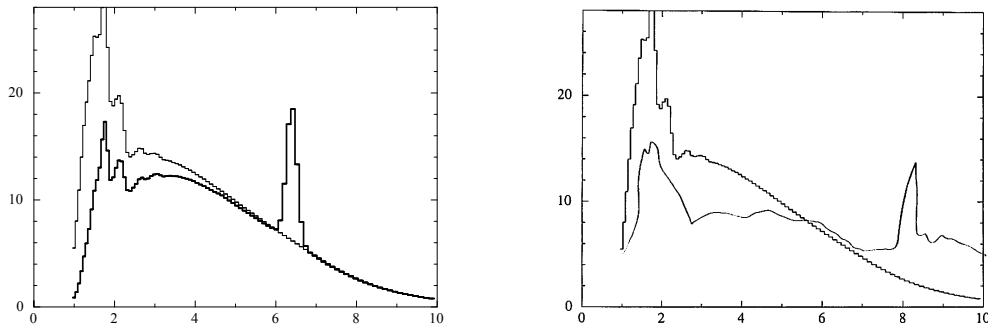


図 5: 左: 大問 4 の基準音 (実線 べき 1.4, 吸収 1.0) と評価音 (太線 べき 1.4, 吸収 2.0, ガウシアン追加) 右: 回答例. べき 1.4 の基準音の線は最初から解答用紙に印刷されている.

る. 用紙には, 参照用に基準音の線が記入してあり, 被験者はこれを見ながら評価音を書き込んだ.

### 3.4.1 結果

大問 4 の問題のスペクトルは, 一次関数等に比べ複雑な形をしているため, 回答には大きなばらつきがでた. これらのうちいくつかの回答では, グラフの概形をよく掴んでいるものがあった. 回答を特徴別にまとめると, 表 2 のようになった. ひとつの回答が複数の特徴を有している場合もあり, これらは別々にカウントしている. また, 図 5(右)に回答の一例を示す.

表 2: 複雑なグラフの聞き取り結果

|                                   | 人 (%)     |
|-----------------------------------|-----------|
| 2山構造 (1.8keV 6.4keV 近辺) をしている     | 34 (79 %) |
| 1.8keV のピークは基準音の約半分の高さである         | 20 (47 %) |
| 1.8ekV と 6.4 keV のピークの高さはほぼ同じである. | 12 (28 %) |
| 4kev 以下で基準音より評価音の方が低くなっている        | 18 (42 %) |
| ガウシアンピークは $6.4 \pm 0.5$ の範囲にある    | 16 (37 %) |
| グラフ上でガウシアンの中は 1.0 keV くらいに書かれている  | 23 (53 %) |
| ガウシアンピークの高さは連続成分の 2-3 倍程度である      | 12 (28 %) |
| 7.0 keV 以上では基準音と評価音の線はほぼ一致している    | 11 (26 %) |

## 4 考察

### 4.1 スペクトルの差分の認識

データプロットの比較 (大問 1) で べき 1.4 と 1.0 では差があると、ほぼ全員が回答していることから、今回サンプルにしたスペクトル程度で べき 1.4 と 1.0 の違いであれば、特に訓練がなくても聞き取りが可能ということがわかった。一方で、べき 1.4 と 1.3 で「違う」と答えたのは半数以下であり、べきの差が 0.1 程度だと聞き取りが難しい可能性がある。ただし、残差の音を聞いた場合は、97% の被験者が「差がある」と答えている。

同じように、大問 2 の小問 e, f で問うたような小さな構造 (ガウシアン, norm=0.005) も、データだけを聞いて比較した場合は差を認識できたのは 16% に過ぎなかったが、残差を聞いた場合 77% が「違う」もしくは「どちらかといえば違う」と答えている。

視覚によってグラフを見る場合と同様のことではあるが、残差を聴き比べることにより、より正確なグラフの差分を認識することができるし、それは音声プロットの場合も同様であると言える。残差をプロットするのは xspec の標準機能ではあるが、splot でこれを実現したことで、視覚障害者も細かい図の聞き分けができる可能性がある。

大問 4 にあるように、複雑なグラフでも一部の人のためにはよく特徴をつかめている場合もある。個人差や慣れの問題もあるため一概には言えないが、音によってスペクトルの概形を理解できる可能性があることは、今回の調査によって確認できたと思われる。本調査は、音によるデータ比較・スペクトルフィットはひとつの有効な手段となりうることを示したと言える。

### 4.2 判別しづらいグラフ

調査の中で手書きでグラフを答えた問題では、設問の関数とは違う回答が多かった間が複数あった。ひとつは、大問 3 の小問 k で、 $y = x^2$  の音を問うたもので、誤回答には、 $y = 2x$  などの一直線のものや、途中で折れ曲がった 2 本の直線などが多くあった。

もうひとつは 大問 4 で、x 軸のどのあたりにガウシアンピークがあるか、4 keV 以下の連続成分は、基準音と評価音のどちらが上か、などに多くのばらつきがあった。

解決方法の一例としては、splot の「グリッド」機能を用いることが考えられる。splot の「グリッド」は、音でグラフを表現する際、一定時間ごとにシグナルをいれることにより X 軸の位置を認識しやすくする機

能である。また、晴眼の解析者がデータを何度もプロットしなおしてその特徴を見極めるように、splot でも (データ範囲などの) 条件を変えて複数回プロットすることで、図形の特徴をつかめるようになることを期待する。

### 4.3 STEM と X 線天文衛星のデータ解析

宇宙科学データ可聴化プロジェクトは、将来は科学衛星のデータ解析を、視覚障害者自身で行うことができる環境を構築することを目指している。これは STEM 分野で視覚障害者が活躍できる環境を作ろうとする近年の潮流にも合致するものである。

本研究では、splot-for-xspec によって視覚に頼らずにスペクトルフィットを行うことができる可能性を示した。しかし、スペクトルフィットはデータ解析プロセスの一部に過ぎない。X 線衛星のデータを解析するには、データの取得や、観測時間・衛星の姿勢・イメージ領域など様々な条件での取捨選択、応答関数の準備、その他多くの作業を行わなければならない。これらフィッティング以外のデータ解析プロセス全体のバリアフリー化が今後の課題である。

## 5 結論

宇宙科学データ可聴化プロジェクトでは、音声によるグラフ表示ソフトウェア splot を X 線スペクトルフィッティングツール xspec から動作させる splot-for-xspec を試作した。また、splot-for-xspec を用いてスペクトルの聞き分けができるかを調べる小規模な調査を実施した。ここから、音によるデータ比較・スペクトルフィットはひとつの有効な手段となりうることを示した。認識精度の向上や、フィッティング以外のデータ解析プロセス全体のバリアフリー化などが今後の課題である。

## 謝辞

本研究の調査・分析において、日本福祉大学の吉原智恵子准教授に有益な助言をいただいた。ここに謝意を表する。

## 参考文献

- [1] Hwang, Jiwon and Taylor, Jonte C. (2016) "Stemming on STEM: A STEM Education Framework for Students with Disabilities," *Journal of Science Education for Students with Disabilities*: **Vol. 19: Iss. 1**, Article 4., pp.39-49 Available at: <http://scholarworks.rit.edu/jsesd/vol19/iss1/4>
- [2] "HEASARC website" <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/>
- [3] "The QDP/PLT User's Guide" <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/ftools/others/qdp/qdp.html>
- [4] Arnaud, K. A., : "XSPEC: The First Ten Years", *Astronomical Data Analysis Software and Systems V eds. Jacoby G. and Barnes J*, **Vol. 101**, pp.17 (1996)

- [5] 宇野 伸一郎, 亀山 哲也, 堀畑 昌希, 浅野 仙久, 海老沢 研, 田村 隆幸, 笠羽 康正, 篠原 育, 宮下 幸長, 三浦 昭, 松崎 恵一, 村上 弘志, 古澤 (秋元) 文江: “宇宙科学データ可聴化プロジェクト～プロジェクト立ち上げと初期データ公開～”. 日本福祉大学 健康科学論集, 第 10 巻, pp.1-9 (2007)
- [6] 宇野 伸一郎, 外谷 渉, 三浦 昭, 海老沢 研, : “宇宙科学データ可聴化プロジェクト (2) ～音声グラフ表示ソフトウェアの試作～”. 日本福祉大学 健康科学論集, 第 14 巻, pp.1-9 (2011)
- [7] 宇野 伸一郎, 外谷 渉, 三浦 昭, 海老沢 研, : “宇宙科学データ可聴化プロジェクトの現状”. 宇宙科学情報解析論文誌, 第 1 巻, pp.7-11 (2012)