

一般論文

受付：2006.10.3  
受理：2007.1.11

## 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～

宇野 伸一郎<sup>1, 2</sup> 亀山 哲也<sup>1</sup> 堀畑 昌希<sup>1</sup> 浅野 仙久<sup>1</sup> 海老沢 研<sup>2</sup> 田村 隆幸<sup>2</sup>  
笠羽 康正<sup>2</sup> 篠原 育<sup>2</sup> 宮下 幸長<sup>2</sup> 三浦 昭<sup>2</sup> 松崎 恵一<sup>2</sup> 村上 弘志<sup>2</sup> 古澤(秋元) 文江<sup>3</sup>

1: 日本福祉大学 情報社会科学部  
2: 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部  
3: 名古屋大学 地球水循環研究センター

## The Astronomical Data Sonification Project: An overview of the project and its initial data output

S. Uno<sup>1, 2</sup>, T. Kameyama<sup>1</sup>, M. Horihata<sup>1</sup>, N. Asano<sup>1</sup>,  
K. Ebisawa<sup>2</sup>, T. Tamura<sup>2</sup>, Y. Kasaba<sup>2</sup>, I. Shinohara<sup>2</sup>,  
O. Miyashita<sup>2</sup>, A. Miura<sup>2</sup>, K. Matsuzaki<sup>2</sup>, H. Murakami<sup>2</sup>, F. A. Furuzawa<sup>3</sup>

### Abstract

We report on the current status of our astronomical data sonification project. This project aims to sonify astronomical data, that is, to convert a visual medium into an audio medium for both scientists and the visually impaired. We hope that sonification can lead to a new way of conceptualizing scientific data. The primary sources of the data used for this project come from Japanese satellites dedicated to X-ray astronomy and geophysics.

This project is performed in collaboration with Nihon Fukushi University and the Center for Planning and Information Systems (PLAIN center) of the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) Institute of Space and Astronautical Science (ISAS). Our project began in March 2006. Since this time we have sonified astronomical data sets, including data from X-ray pulsars, and have published these results. In this paper we also discuss future plans for the project, as well as its implications for visually impaired scientists and public.

**Keywords:** 音声化, 科学衛星, マルチメディア, 視覚障害

## 1. 導入

一般に科学データの理解は図表に頼ることが多い。これら図表は、主に視覚情報として認識される。このため、視覚に障害がある場合、これらを理解することは非常に困難なものとなる。この解決策のひとつとして、コンピュータによるデータの音声化が行われている。またこの用途に限らず、科学のデータを様々なメディアを用いて体感する方法の研究も行われている。

科学データを音声化する試みは複数の分野で行われている。田村らは、プラズマイオンの運動の数値シミュレーションデータを可聴化し、振動運動をするドリフト粒子の振動周期が少しずつ変化していく様子を音声で表現した<sup>1)</sup>。また、武田は、熔融材料の対流状態を示すコンピューター・シミュレーションの結果を可五感化する試みを行っている<sup>2, 3)</sup>。

宇宙科学の分野では、太陽の観測データを用いた SOL プロジェクトがある<sup>4)</sup>。SOL プロジェクトは、1978 年～2000 年までの太陽黒点数、太陽総放射量、太陽磁場、太陽風の 4 つの科学データを Florian Grond, Frank Halbig, Jesper Munk Jensen, Thorbjorn Lausten の 4 人の科学者・アーティストが時間的変動と共に映像とオーディオで表現したというものである。このプロジェクトでは、22 年間の太陽活動サイクルが約 1 時間のオーディオ・ビジュアルとして表現されており、ダイナミックに変動する太陽活動をリアルな感覚として体感できるものとなっている。

また、The University of Iowa では、GURNETT らが複数の衛星のデータを用いた音声化を行っている<sup>5)</sup>。ここでは、ボイジャー (Voyager) 衛星、カッシーニ (cassini) 衛星などの太陽系近傍を探査する衛星の観測したデータなどが音声化されている。

## 2. プロジェクト

我々は、図表、特にグラフに頼ることの多い宇宙科学データを視覚に障害のある人達に伝えることを目指し、「宇宙科学データ音声化プロジェクト」を立ち上げた。

本プロジェクトでは主に以下の事を行う。

- ・宇宙科学データを音声化する表現手法の検討
- ・簡易な宇宙科学データの音声化方法の開発
- ・複数の方法による音声化とその比較
- ・音声化されたデータの配布とそのフィードバック

- ・聴覚によってデータ解析を行う手段の模索

プロジェクトは、2006 年 8 月現在、日本福祉大学 情報社会科学部 宇野研究室 と宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 宇宙科学情報解析センター (以後 PLAIN センターと記す) の 2 機関が共同で推進している。

現段階で、音声化する宇宙科学データは、X 線パルサーからのパルス、巨大ブラックホールや銀河系最速のジェットによる X 線、地磁気擾乱の程度を示す Kp 指数などを選択した。これらは開発を始めた 2 機関において科学研究を行うために扱われていたデータである。研究に用いるデータを直接扱っている理由は、本プロジェクトが「音にして聞かせる教材を作る」事を目標とするのではなく、データ解析プロセスを視覚障害者と共有する方法を模索することを目指しているためである。また一方で、本プロジェクトは、「視覚ばかりに頼っていた宇宙科学データの解析に、新たな視点を加えることができたら、宇宙科学はもっと進歩できるのではないか」といった希望を含んでいる。

このような目的のため、本プロジェクトは以下の点を重視した。

- ・実際のデータ、特に最先端の科学の現場で使われているデータを用いる
- ・科学的情報を極力失わないで音声化する
- ・図の音声化ではなく、データの音声化を目指す

本プロジェクトは、第一段階として宇宙科学データを音声化する表現手法の検討を行う。2006 年 8 月現在、本プロジェクトでは、複数のデータの音声化とウェブページの仮公開を行っている。本論文では、プロジェクトの概要と立ち上げおよび、初期データの公開までを報告する。本論文ではまず、3 章で音声化の方法を概観し、4 章では、今回作成したデータの紹介と、それらのうちの主に宇宙科学のデータに関する音声化について述べる。5 章で音声化した結果と、それらを公開した際の反応を記し、6 章で考察を行う。

## 3. 製作

### 3.1 音声化の方法

宇宙科学データの解析では様々な図表を用いるが、まずは最も単純にヒストグラムで表されるデータの音声化

を行った。ヒストグラムであれば、横軸を時間軸に対応させることにより、縦軸の数値の変化を音の変化で表現することが可能であるためである。

我々は音を当てはめるのに複数の方法を試みた。図1に、それぞれの場合におけるデータ点とそれに対応した音を模式的に記したものを示す。

縦軸の強度変化を音量の変化に対応させる方法

この方法は、データの大小を音の強弱に対応させるものである(図1-(a))。この場合、音高(周波数)は一定のまま音量(振幅)の変動が、データの変動に対応している。

強度変化を音高の変化に対応させる方法

もうひとつはデータ変化を、音高の変化に対応させる方法である。(図1-(b))。音量は変化せず、それぞれのデータに対応した周波数をデータ点に当てはめる事になる。

上記ふたつを複合した方法

さらに、音量、音高を同時に変化させる方法も考えられる(図1-(c))。

3.2 ファイル形式

音声化のファイル形式は2通りを試みた。MIDI形式のものとWAV形式のものである。

MIDI形式では、今回の音声化では、General MIDI(GM)規格を用いた。GMは、近年のパソコン(WindowsやMac OS等)や一般のMIDI対応機器で再生可能であ

り、小さなファイルサイズで簡易に音声化するのに適した規格である。反面、再生される音色等の詳細は規格に定められていないため、音の再現性に劣る。以下本論文では、MIDIについてはGM規格を前提として記述する。

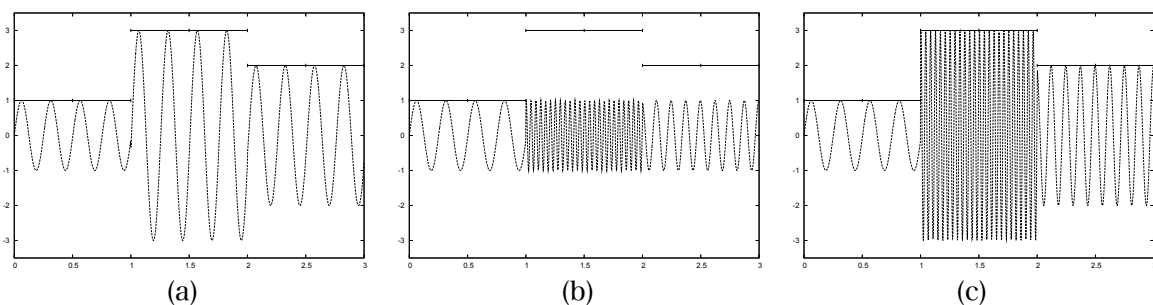
WAV形式は音の波形をそのままファイルにするため、音の再現性が良い。また、多くのパーソナルコンピュータで追加ソフトウェアなしで再生できるという利点がある。一方、WAVファイル形式で宇宙科学データを音声化する場合には、情報を一度波形データに変換する必要がある。このためファイルサイズが大きくなる、という問題点がある。2006年現在、WAV形式のファイルはより一般的に用いられているmp3形式に容易に変換することができるため、データ配布を行う場合はmp3形式に変換することを考えている。

3.3 開発環境

開発は、日本福祉大及びPLAINセンター双方で複数のPCを用いて行われた。表1に日本福祉大およびPLAINセンターで開発に用いられたパーソナルコンピュータの諸元を記す。また、音声化ファイルの作成には、主にC及びPerlを用いた。MIDIファイルの試聴にはQuickTimeを用いた。WAVファイルの試聴にはxmmsを用いた。

表1 開発PC諸元

	IBM	Apple
PC	Think Center S50	PowerMacG5
CPU	pentium 4/ 2.6GHz	PowerPC G5, 2 x 1.8GHz
memory	512M byte	2GByte
hard disk	40 G byte	160GByte
OS	debianGNU/Linux ver 3.1 (sarge) kernel ver 2.6.8-3-686	Mac OS X Panther (ver. 10.3)



波線は音の形を、直線はデータ点を示している。

- (a) : データを音量に対応させたもの。
- (b) : データを音高に対応させたもの。
- (c) : データに応じて音量と音高を同時に変化させたもの。

図1 データ音声化の模式図

### 3.4 プログラム

プログラムの主要部分は、1. 入力データファイルの読み込み、2. データの最大値最小値の判断と音の割付け、3. 音声ファイルの書き出し、という3段階に大別される。このうち1、3. は一般的なファイル入出力が主であるため、2. について記す。

本研究では、WAV形式で音高をデータに対応させる場合と、WAV形式で音量をデータに対応させる場合、そしてMIDI形式で直接データを音情報にする場合の3通りを行っている。

#### 3.4.1 WAV形式で音高をデータに対応させる場合

データ点を音高に対応させる場合、ある時刻における音高を式1のように定義した。

$$m = 880 \times (a(\frac{x}{T}) - Offset_1) \times Gain_1 \quad (1)$$

ここで、 $x$ は経過時間、 $T$ はパルサーの周期、 $a()$ は、フォールディングしたパルスプロファイル関数である。 $Offset_1$ 及び $Gain_1$ は音を聞きやすくするために変化したパラメータで、それぞれX線強度における平均強度に対するパルス成分の割合から設定した(パルス成分の割合が20%なら $Offset_1=0.8$ ,  $Gain_1=1/0.2=5$ のように)。実際には、複数のパルサーの比較を行うために、 $Offset_1=0.85$ ,  $Gain_1=4$ という値を用いた。定数880はピアノ中央のラの音に対応する周波数である。パルサーのフォールディングデータの場合、 $y=1.0$ (X線相対強度の中央値)を880Hzに対応させた。

また、出力される周波数が、50～15000Hzの範囲を越えた場合は飽和させるように設定した。この場合、最高音を越えた場合は最高音に、最低音以下の場合は最低音にしている。

今回は16bit WAVファイルを用いたため、入力可能音量は-32768から32768までとなる。このため、入力データの音量は、入力可能音量の間の半分を使って表現した。つまり振幅は32768となっている。

#### 3.4.2 WAV形式で音量をデータに対応させる場合

データ点を音量(音圧)に対応させる場合、周波数は880.0Hz(ラの音)で固定した。そのうえで、ある時刻における音量を式2のように定義した。

$$m = 65536 \times (a(\frac{x}{T}) - Offset_2) \times Gain_2 \quad (2)$$

上の場合と同じく、 $T$ はパルサーの周期、 $a()$ はフォールディングしたパルスプロファイル関数である。 $Offset_2$ 及び $Gain_2$ は上の $Offset_1$ ,  $Gain_1$ と同じように音を聞きやすくするために変化したパラメータである。音量をデータに対応させる場合は、実際には、複数のパルサーの比較を行うために、 $Offset_2=0.65$ ,  $Gain_2=2$ という値を用いた。

#### 3.4.3 MIDI形式を用いた音声化

宇宙科学データには、連続的に変化する事象を扱ったものと、離散的に発生する事象を扱ったものがある。MIDI形式を用いた音声化では、それぞれの科学データを音声化するにあたって、以下の方法を試みた。

個々の観測値を独立した音源に対応させる方法：この方法は、各データを、時系列に沿って個別の音源として可聴化するものである。離散的に発生する事象を表現するのに適している。

観測値を単一の音源に対応させる方法：各データを単一音源の時間変動として可聴化するものである。個々の事象の連続変化を表現するのに適している。

データには、実数値(浮動小数点)をとるものと整数値をとるものがある。MIDIには、音階を表現するノート情報と、各音階の音高変化を表現するピッチバンド情報がある。今回のMIDI化にあたって、実数値データはピッチバンド情報、整数値データはノート情報を用いて可聴化を試みた。いずれの場合も、再生される音はMIDI形式の指定値に対して、概ね指数関数的な周波数となる。人間の聴覚特性は、概ね周波数の対数に比例しているため、聴覚上は元になった科学データに沿った音高として感じることができる。

ピッチバンド情報を用いた音声化：ノート情報はC音に固定し、MIDIにおけるピッチバンドの最大値を1オクターブに設定した。すなわち、元となる数値データの最大値に対しては、1オクターブ高いC音が割り当てられる。この変化幅の中で、実際のピッチバンドは14ビットの精度で指定可能であ

り、聴覚上は連続した音高変化として聴く事ができる。

ノート情報を用いた音声化：得られる値が比較的变化範囲の狭い整数値である場合、各値を音階に割り当てることで、日常の音楽に近い表現とした。人間にとって心地よい響きとなるのは、各値を全音階に割り当てた場合であった。

各音源の音量に関して、ノート情報のベロシティ指定を用いることができる。ベロシティと実際の音量の関係はMIDIで定義されていないため、今回の音声化では、原則として一定値のベロシティを用いた。

MIDIデータの時間軸は、科学データの時間軸もしくはエネルギーバンド等に比例した値とした。人間が聞き取りやすいテンポとなるよう、時間軸を調整した。離散的に発生する事象は、その事象の持続時間が0に近いものがある。持続時間が0に近いノート情報に対しては、聴覚上認識できるように、ノートオン時の立上がり時間が極めて短く、ノートオフ後の減衰時間が長い音色を適用した。(例：オルゴールの音) 連続的变化を伴う事象は、ノート情報の持続時間が長くなるので、持続音量が大きく、減衰時間が短い音色を適用した。(例：弦楽器の音)

#### 4. データ選択と解析

プロジェクトの初期段階として、我々はX線天文衛星「あすか(ASCA)」<sup>6)</sup>や磁気圏観測衛星「ジオテイル(geotail)」などの衛星のデータを用いた。このうち本章では主に「あすか」衛星で観測されたX線パルサーのデータの音声化について述べる。これはWAV形式でデータを音声化したものである。最初にX線パルサーを用いたのは、天体物理学の世界で、実時間において時間変動を体感できる数少ない研究対象のひとつであるためである。

##### 4.1 パルサーの音声化

パルサーとは、周期的にX線強度の増減を繰り返す星のことを指す。パルサーの正体は高速に回転する中性子星である。中性子星の磁極が光っていて、その磁極が地球の視線方向に来たときに明るく光って見えるため、周期的な明滅が観測されるというものである。パルサーの回転の周期は数ミリ秒という短いものから数十秒という長いものまで様々である。

X線パルサーのデータは、X線強度の時間変動を見ることでわかる。X線強度の時間変動を見るために、横軸を時間、縦軸をX線強度として描いた図を「ライトカーブ」という。明るいパルサーでパルス周期がはっきりしているものは、ライトカーブからパルスを見ることができるものもある。

一方、それほど明るくないパルサーや、パルスの強弱の変化の少ないものは、ライトカーブをパルス周期で折り畳んだ図を作って、その特徴を調べることになる。この作業を「フォールディング」という。フォールディングができた図からは、パルサーの周期ごとの特徴を見ることができる。

我々は、第一歩として、5つのパルサーの音声化を行った。ターゲットはそれぞれ、1E1048.1-5937, CEN\_X-3, 4U1626-67, her\_x-1, GRO\_J1750-27である。表2に、それぞれのパルサーの位置、距離、そして周期を記す。

表2 音声化を行ったパルサー

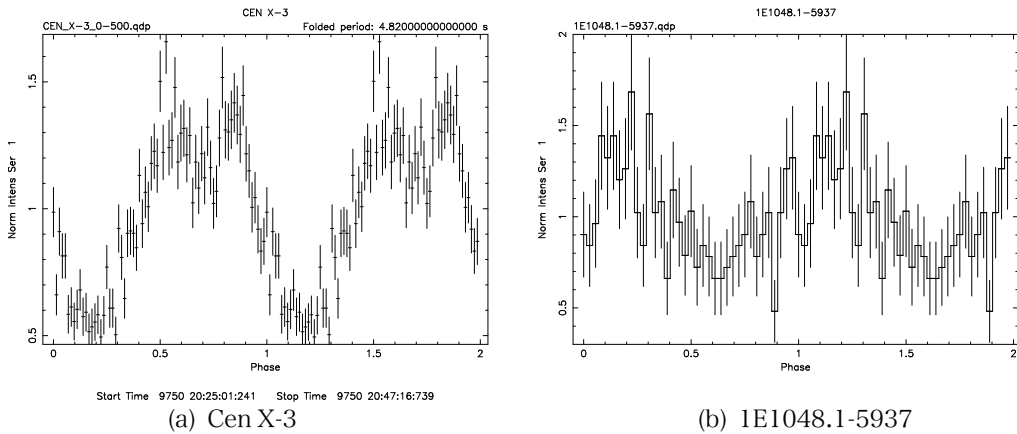
名前	周期 (秒)	距離 (kpc)	赤経 (J2000)	赤緯 (J2000)
1E1048.1-5937	6.44	10	162.54	-59.8889
CEN_X-3	4.82	8	170.31	-60.6233
4U1626-67	7.66	9	248.07	-67.4619
her_x-1	1.24	5	254.46	35.3424
GRO_J1750-27	4.45	18	267.29	-26.6472

##### 4.2 フォールディングを行ったライトカーブ

図2に、フォールディングを行ったライトカーブの一例として、CEN\_X-3と1E1048.1-5937のパルスプロファイルを示す。図2からは、パルス周期だけでなく、一周期の中での変動や平均強度からの変動率などを見ることができる。

図2-(a)はCEN\_X-3のパルスプロファイルであるが、平均強度の50%近い振幅のパルスが検出されている様子がわかる。また、パルスの形もサイン型ではなく明るいフェーズが暗いフェーズより長い、明るくなっている間でも相対的に暗くなる時期(フェーズ0.6-0.8近辺)が存在する、などの情報も見取れる。比較対象として図2-(b)に1E1048.1-5937のパルスプロファイルを示す。こちらも50%近い振幅を示すが、CEN\_X-3とはパルスの形が違っている事がわかる。

我々はこれらのデータを音声化したものを製作し、聞き比べた。実際に聞き比べたところ、ターゲットに



(a) はケンタウルス座 X-3,  
 (b) は1E1048.1-5937という X線パルサーのデータ。  
 横軸はパルスフェーズ(2周期分)、縦軸は平均強度を  
 1とした時の変動率である。

図2 フォールディングを行った X線パルサーのライトカーブ

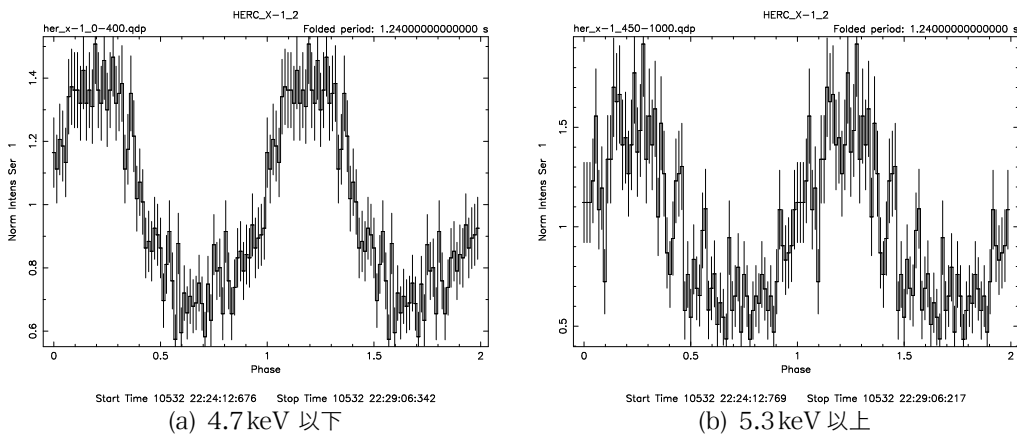
よってパルスの形が違うことはわかったが、細かい構造を聞き分けるのはまだ困難な状態であった。ただし、CEN\_X-3 のように X線強度が強い時間が長く続くパルサーと、比較的短いパルサー 1E1048.1-5937 の差は比較的わかりやすかった。また、データを音量に当てはめた場合と、データを音高に当てはめた場合では、データを音高に当てはめた場合の方が、より変動を感じやすかった。

### 4.3 エネルギーバンド別ライトカーブ

パルサーのデータ解析においては、エネルギーバンド

別にフォールディングをおこなったライトカーブを扱うことがよくある。これは、パルサーの輻射機構によって、異なるエネルギーバンドで異なるライトカーブが観測されるため、パルサーの特徴を調べる上での有効な手段となっているからである。このため我々は、エネルギーバンド別のフォールディングをおこなったライトカーブの音声化を試みた。

図3に、Her X-1 のエネルギーバンド別のフォールディングをおこなったライトカーブを示す。図3-(a)は低エネルギーバンド4.7 キロエレクトロンボルト(以下 keV と記す)以下のデータだけでフォールディングをお



(a) は低エネルギーバンド (0.7 ~ 4.7keV)  
 (b) は高エネルギーバンド (5.3 ~ 10.0keV) のデータ。

図3 フォールディングを行った HerX-1 のライトカーブ

こなったもので、図 3-(b) は同様に 5.3 keV 以上のデータをういたものである。パルスプロファイルは似ているが、高エネルギー側の方が X 線強度が強い期間が相対的に短く、また、フェーズ 0.1 近辺にスパイク状の構造が見えることがわかるだろう。

Her X-1 についても、4.2 章の場合と同様、我々はこれらのデータを音声化したものを製作し、聞き比べた。音声化方法は、全エネルギーバンドのライトカーブについては、データを音量に当てはめた場合、データを音高に当てはめた場合、の双方を作成した。4.2 章の場合と同様、データを音量に当てはめた場合と、データを音高に当てはめた場合では、データを音高に当てはめた場合の方が、より変動を感じやすかった。エネルギーバンド別には、より変動を感じやすかったデータを音高に当てはめる方法を用いて音声化を行った。これらふたつを聞き比べたところ、音高の違いは感じられるものの、どのように違うのかを数値的に認識するのは困難な状態であった。

#### 4.4 時間変動をする天体のデータ

パルサーの音声化に続き、我々はより一般的な宇宙科学データの音声化を試みた。天体としては以下の 4 点を選択した。

1. X 線パルサー Her X-1
2. 星生成領域 「みなみのかんむり座 R 星」の周辺
3. 銀河系内のブラックホール GRS 1915+105
4. 活動銀河核 IRAS 13224

X 線パルサー Her X-1 は WAV 形式で音声化したものと同様、高速に回転する中性子星である。このデータではパルス周期ごとの X 線強度の変化をみてとることができる。ふたつめの星生成領域は年齢 10 万年程度の生まれたての星が起こす爆発現象を観測したものである。3 番目ターゲットは、ジェットを噴出しているブラックホールで、X 線強度が大きく変動する時期としない時期が見られる天体である。4 番目の活動銀河核は、太陽の 10 万倍から 1 千万倍と言われる巨大ブラックホールを中心にもつもので、2 日間に数十倍の強度変動が見られるものである。これらの天体現象の詳細な説明は、宇

宙科学研究本部の「あすか」衛星のホームページ<sup>7)</sup>に記載されている。これら 4 つのターゲットは、数時間から数日という比較的短い観測時間の中に、大きく X 線強度が変化することから選択された。これらについては、MIDI による音声化の方法を試している。

X 線信号の変換には、以下の二つの方法を用いた。

- ・ X 線の強度の時間変化をデータとし、強度を音高に変換する方法。この場合は、音と音の間隔は一定になる。
- ・ 入射した X 線のエネルギーを対応する音高に変えて、実際の X 線が 1 つ着いたら音を発生させる方法。(実際の X 線イベントは、到着時刻、X 線のエネルギー(色)などが測定されるため)

なお、実際の観測は数時間にわたって続くため、時間間隔を縮めたり、データの一部だけを音声化したりするという方法を用いている。

## 5. 公開

ここで作成した音声は、他の宇宙科学データの音声とあわせて、宇宙科学研究本部の一般公開において、PLAIN センターのブースにて公開した。宇宙研の一般公開は毎年夏に行われるもので、2006 年は 7 月 29 日(土曜日)に行われた。当日は 19500 人の来訪者があり、PALIN センターのブースにも多くの人が訪れた。

音声化については、多くの方から、面白いといった感想をいただいた。また、「音声の音量や音高は、その場で、聞く人が調節できればよい」などの意見をいただいた。これらの意見を今後の開発に活かしていきたいと考えている。

また、ここで公開した音声の情報は、宇宙研及び日本福祉大の Web 上で一部公開している。アドレスは、

<http://darts.isas.jaxa.jp/Music/>

及び

<http://handy.n-fukushi.ac.jp/pub/uno/music/> \*

である。

\* 2007 年 3 月、日本福祉大学の情報機器リプレースのため、URL が変更される可能性があります。

## 6. 考察

### 6.1 音声化

我々は、X線天文、地球磁気圏のデータを用いて、宇宙科学データの音声化を試みた。音声化データはまだ試作段階であり、詳細なデータを比較するには至っていない。しかしながら、宇宙科学データを音声化する試みとしては、宇宙研一般公開などで好評をいただいた。X線パルサーの音声化においては、データを音量/音高の変化それぞれに対応させたものを試作した。音量変化よりも音高変化の方が変動を感じとりやすい、との意見が多かった。また、個々のパルサーによる音の違いから、その特徴を感じとることができるようになってきている。ただし、これらはまだ試験的な段階であり、定量的な評価を行うには至っていない。

音量の変化より音高の変化の方が変動を感じとりやすいという意見から、データをどのように音量/音高に当てはめるかに関する自由度の一例を考えることができる。人間の聴覚特性は音圧の対数に比例するが、聴覚特性の対数と、データ軸の線形性は一致している必要はない。例えば、データが線形であった場合でも、それをそのまま音量に変換するか、それを対数に変換してから音量にするかによって、データの表現方法は変わってくる。また、元データが対数表示に適したものである場合にそれを直接音高に変換する場合と、線形になおしてから音高に変換する場合で、聞きやすさにも大きく影響するだろう。つまり、データを音高もしくは音量に当てはめる時に、対数に変換するかしないかを選べるようにシステムを設計するといったことであろう。

X線パルサーのフォールディングを行ったライトカーブの音声化を考えた場合、X軸(時間/パルスフェーズ)とY軸(パルス強度)をどのような音と時間に割り当てるのかを詳細に検討する必要がある。周期(X軸全体を何秒で再生するか)、音量/音高の範囲設定(図表における縦軸の数値範囲を、どの周波数に対応させるか)、一音の継続する長さ(X軸方向のデータのビンディング長に相当)、などによって、音は全く変わってくる。このため、どのような音を作れば最もその差が聞き取りやすいのかを検討する必要がある。また、音声化した既存のファイルを用意するのではなく、ユーザが聞き取りやすいような音声をその場で生成するようなリアルタイムなシステムも検討する必要がある。また、二つ以上のデータを音声化する場合に、周波数とデータの対応などの音声化の

ための基礎データを共有する方法も検討事項となる。

現状では、音声化したデータの一音の継続時間は主にデータ側の要請から決まっていた。それらは、例えばパルサーのライトカーブであれば、検出器の時間分解能によって制限されていたり、統計誤差を少なくするように行うビンまとめの結果であったりする。パルサーの場合は実時間で音声化を目指したため一音の継続時間が制限された、という事情もある。しかし、ヒストグラムを音声化するという視点でみれば、X軸が時間軸とは限らないので、必ずしもX軸を実時間に対応させる必要はない。同じように、Y軸の範囲も可変にして音声化することを考える必要がある。紙の上で図表を描く際に、X軸/Y軸の範囲や線形/対数の選択をするように、一音の継続時間を調整できるようにシステムを設計していく必要があると考えられる。これであれば、二つ以上のデータを比較する場合に、図に表示できる差異であれば、音でもその差が示せることが期待できる。

### 6.2 プロジェクトの将来計画

音声化システムの構築では、以下のような点が検討項目として挙げられる。

1. 音声化プログラムの高機能化/ユーザインターフェースの検討
2. 対数/線形の図と、音量/音高の対応比較、対数変換の検討
3. リアルタイム化
4. 出力音声のステレオ化とデータの対応
5. 聞き取りやすさの測定方法の検討
6. 視覚障害者を交えての改良点の検討
7. 他データへの応用

今後はこれらの項目について順次開発を行っていく予定である。

項目1, 2, 4は、非常に多くの改良点が見出される。音量/音高をそれぞれを別次元の変化量に対応させることもそのひとつである。例えば、音量をX線強度に、音高をエネルギーに対応させれば、ひとつの音声ファイルを再生することで、2種類の情報を聞くことができるようになるかもしれない。また、音色をとりいれることも検討できると思われる。さらには、ステレオ音声を利用することにより、情報の多重化も検討できるだろう。



項目3については、データをよりフレキシブルに表現できるようにする必要があると考えている。例えば、特定の音声ファイルを前もって作成しておくのではなく、図表として表示したデータをリアルタイムで音声化する事を考える必要がでてくるだろう。この場合、シンセサイザーソフトウェアとの関係が必要となる。

また、項目6では、どのような音声化をすれば、視覚障害者にとってわかりやすいのか、音声化データでどこまで細かい差異まで識別可能なのか、などを検討することになる。この場合、厳密な結果を出すためには、作成データの定量的な評価実験が必要となってくるだろう。またここでは、視覚に障害のある科学者が使うには何が必要なのかといった検討をしたいと考えている。

## 7. 結論

我々は、宇宙科学データを音声化し、音によるデータ理解を検討するプロジェクトを立ち上げた。2006年8月現在、複数の科学データの音声化とその公開を行っている。現在はまだ試験的な段階であり、音による宇宙科学データ理解/解析の方法には、どのような音声化方法が最適なものか、データと音の対応をどのように定義するか、視覚障害者や科学者にとってどうすれば最も理解しやすい音声化ができるかなど多くの検討事項がある。本プロジェクトは今後、順次これらの課題を検討していく予定である。

## 参考文献

- 1) 田村祐一, 佐藤哲也, 山聡, 藤原進, 中村浩章: 数値シミュレーションデータ表現のための音情報機能を付加したバーチャルリアリティシステムの開発. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 5 (3), pp. 943-948 (2000)
- 2) 熱対流の可五感化による数値シミュレーションの独立性に関する研究. 芝浦工業大学研究報告理工系編, 47 (2), pp.29-38 (2003)
- 3) 「可五感化」という新しい感覚に基づいたシミュレーション・プログラミング. 第40回プログラミング・シンポジウム報告集(情報処理学会), 40, pp. 151-158 (1999)
- 4) <http://www.sol-sol.de/>
- 5) <http://www-pw.physics.uiowa.edu/space-audio/>
- 6) Tanaka, Yasuo, Inoue, Hajime, & Holt, Stephen S: *Publicatoin of Astronomical Society of Japan*, 46, 37 (1994)

7) <http://www.astro.isas.jaxa.jp/xjapan/asca/>