

リモートセンシングデータの可聴化システムの提案

祖父江 真一^{*1}, 新井 康平^{*2}, 奥村 隼人^{*3}, 山本 彩^{*3}, 荒木 博志^{*4}, 松永 恒雄^{*5}

A Study of the Sonification of Remote Sensing Data

Shin-ichi SOBUE^{*1}, Kohei ARAI^{*2}, Hayato OKUMURA^{*3}, Aya YAMAMOTO^{*3},
Hiroshi ARAKI^{*4} and Tsuneo MATSUNAGA^{*5}

Sobue.shinichi@jaxa.jp

Abstract

Data visualization with GIS is powerful tool to derive information of need from remote sensing data like as data mining. In this study, we apply data sonification with ear, as one of 5 human sense, to find any alternative way to extract information of need from remote sensing data.

Keyword: Sonification, Auditory Data, Visualization, ENSO

概 要

膨大化するリモートセンシングデータから情報を抽出する手段としてデータマイニングなどとともに、GIS上で可視化が一般的に広く利用されている。本研究においては、人間の五感のうちで視覚ではなく、聴覚に着目し、複数の波長や観測物理量の情報を可聴化することにより、情報を抽出する手法の開発を行ったので、その結果を報告する。

1. まえがき

地球環境変動研究のために、地球観測データから効率的に有意な情報を抽出する必要性が、増してきている。近年、地球観測衛星においては、観測機器の高性能化による多バンド化、高分解能化などによるデータ量の飛躍的な増加が生じている。一般的には、膨大なデータから所望の情報を抽出するための技術として、統計学、パターン認識、人工知能等のデータ解析の技法を大量のデータに網羅的に適用することで知識を取り出す技術の利用が増えている。大規模リモートセンシング画像を主な対象として、画像認識的な手法による特徴の抽出、カタログ化、クラスタリング、決定木など機械学習的手法による分類則の発見といった個々のアルゴリズムの検討が行われている。このような分野はデータマイニングといわれている。データマイニングにより、大容量データからのリアルタイムベースでの情報抽出が可能となってきた。

一方、聴覚に関していえば、オーケストラの演奏の音楽鑑賞にみられるように、人間の耳は複数の異なる音色、音程、音量の差異を聞き分ける能力にはすぐれている。

このような可聴化では、可視化に対して感度分解能は劣るものの、多数のデータを同時に表現する手法としては有効である可能性を示唆している。加えて、可聴化では、可視化ほどデータ判読のための集中化を必要とせず、BGM的に可聴化データを流しておく中で、通常と異なるパターンの抽出が可能である。このような人間の聴覚の能力を使って、異常現象などを識別する手法も、機械の異常検出などで古来より経験的に使われてきている。火山噴火による震動情報の可聴化のみな

^{*1} 宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency)

^{*2} 佐賀大学 (Saga University)

^{*3} リモートセンシング技術センター (Remote Sensing Technology Center of Japan)

^{*4} 国立天文台 (National Observatory of Japan)

^{*5} 国立環境研究所 (National Institute of Environment Studies)

らず、宇宙科学分野でも太陽、火星やクエーサーなどの天体の観測データからの情報抽出として実施されている。このような宇宙分野での可聴化では、可視化の補完システムとしての可聴化が主となっている。

本研究においては、海面高度、海上風、海面水温など複数の観測データを同時に利用することでエルニーニョの有無を判別する情報を抽出するための可聴化のためのプログラム作成および作成した。このシステムを用いて、可視化の補完のみならず、可聴化のもつ効率的な特徴抽出についての可能性の調査を行った。

2. 可聴化

2.1 これまでの研究

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[1]。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 1 がある。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・ヴィ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。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。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索する衛星の観測したデータなどが音声化されている²。

宇野らは、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 指数などの可聴化を行うとともに、視覚障害者教育への適用が検討されている[2]³。

これまでの可聴化研究においては、あらかじめ固定された場所の時系列の特定の物理用データからイベントを音を使って表現し、新しい知見を得るということに主眼が置かれてきた。あるいは、都市での犯罪発生の危険度・頻度の情報を提供するのにも、地理情報システム上で頻度などを色分けして表現するのみではなく、音の大きさ、高さなどを使って情報提供するシステムが提案されている。これらの研究において、可聴化は、可視化に対する相補的なものとして、その有効性が示されている。しかし、これらはあくまでも時間系列的の 1 種類の観測データを可聴化したものである。

最近、A. Roginska らは、地理情報システム (GIS) を用いて、リモートセンシングデータの可視化と可聴化を同時に行った。この可聴化においては、オーケストラの 14 の楽器を使うことにより、14 の時系列のデータを同時に表現した[3]。この研究においては、複数の観測データを同時に表現するというインフラを提供している。しかし、この研究では、GIS で可視化とともに、複数の観測データを同時に可聴化することに注力していた。このため、実際の地球環境現象において可聴化により新たな知見を提供するという検討は実施されていなかった。

2.2 月周回衛星「かぐや」の高度計データの可聴化

筆者らは、月周回衛星「かぐや」のレーザ高度計 (LALT) のデータの可聴化を行う Moonbell システムを構築し、公開している[4]⁴。

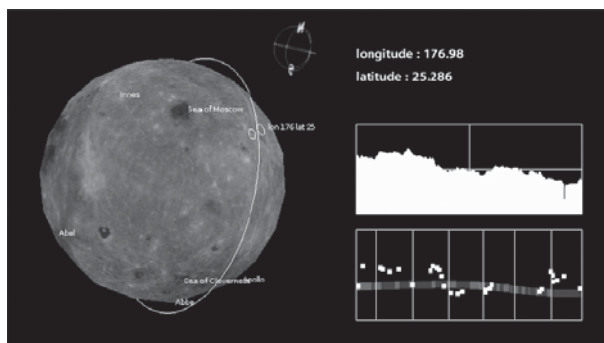


Fig.1 Moonbell snapshot

¹ <http://www.sol-sol.de>

² <http://www-pw.hysics.uiowa.edu/space-audio/>

³ <http://handy.n-fukushi.ac.jp/pub/uno/music/>

⁴ http://wms.selene.jaxa.jp/selene_sok/

この LALT データ可聴化においては、時間ごとに観測した高度情報に音程をわりあてることにより、音楽を演奏するものである。このとき、大局的な高度の感覚と、局所的な地形変化の両方を感じられるようにするため、高度履歴による平均高度を 30 観測地点ごとに計算して音程を割り当てることにした。その際、局所的な音程の変化と、その地域の塊としての音程の変化を分離させ、それぞれを異なる楽器で鳴らすことにした。

Fig. 1 に Moonbell の表示画面を示す。なお、割り当てる音程については、音程の変化が、耳障りに感じさせないように、デフォルトではドレミファソラシドのすべての音程を使うのではなく、音が変わったときに前の音との間で、和音を奏でる音程のみを割り当てるように設定した。このため、マリンバが奏でる音楽は、常に一定の和音の音のみで構成されている。これは、LALT 可聴化システムは、データ解析用ではなく、あくまでも高さを体感させることを主眼においたためである。また、音程、楽器、演奏速度などは、ユーザ側で自由に設定可能であり、自分の趣味に応じて、心地よい音楽を作ることが可能となっている。

3. 本研究での可聴化手法

3.1 可聴化の方針

われわれの研究においては、A. Roginska, Lodha[4] らと同様にオーケストラの主要な楽器にリモートセンシングデータを割り当てることとし、次の方針に基づき可聴化手法の開発を行った。

- ・等緯経度投影された衛星データを空間情報として可聴化できること
- ・4つ以上の複数の関連しているデータの特性を表現できること。
- ・音色（楽器）、音量、音符（音の長さ）、音程などを容易に変更可能なこと。
- ・安価なパソコンで実現できること。

なお、実際に可聴化した情報を演奏するにあたっては、テキスト音楽ソフト「さくら」⁵を活用することにした。これにより、音楽を演奏することに時間をとられることなく、データをどのように音に変換するか、どのように組み合わせるかというコアの部分にシステム構築を集中することができた。

3.2 地球観測衛星データの可聴化

3.2.1 概要

可聴化システムとしては、データの入力、データの音への可聴化、データの音声出力の3つの部分に分けられる。データ入力インタフェースとしては、地球観測衛星データを読み込む処理を行うものである。データの音への変換処理は、観測データを音程、音符に割り当てる処理を行うものである。音の出力については、音程、音符に割り当てた情報を前述のとおりの「さくら」の構文に合わせて変換、出力するものである。その後、「さくら」を別途立ち上げ、音を鳴らすことになる。

データの音への可聴化においては、衛星データの従来の可聴化においては、時系列的なデータを、音程や音量に割り当てるというやり方がされていた。宇野らによる科学データ可聴化プロジェクトにおいては、科学データの強度を音量および音の高さに割り当てる試みが実施されている。これに対して、今回の研究においては、衛星データの中の空間的な特徴的な情報を音声により識別できるような可聴化のシステムの構築を地理情報システムと組み合わせて実施した。このため、地球を等緯経度のグリッドに分割し、そのグリッドごとに観測データが存在するデータを、どのように音声にマッピングするかという観点にたった可聴化、すなわち、空間情報の可聴化という観点に立ち可聴化処理アルゴリズムを検討した。本研究で検討した可聴化処理アルゴリズムの基本は、次のとおりである。

- ・音程（音の高さ）：各データの母集団の中から最大値、最小値を導出し、最大値－最小値の観測データの幅を3オクターブで均等に音程をわりあてるように割り算する形で、観測データを音程に写像した。なお、データ欠損の場合には、休符とする。
- ・音符（音の長さ）：これまでの時系列データの可聴化においては、一定の長さであった音の長さをデータの連続性により変化させる。基本の音の長さとして16分の1音符を1グリッドのデータの長さとする。同じ音符、すなわち同じ範囲のデータの値が続く場合には、音符を長くするとする。最大4回までをつなぎ、4分の1音符まで音符は長くする。すなわち、これは、同じ範囲のデータが4回継続していることを意味する。

⁵ <http://oto.chu.jp/>

- ・音量：隣のデータとの間で音程に著しい変化があったときに音量も変化するように音量も割り当てる。データ値が大きくなったときに、音量を増やし、データ値が小さくなったときに音量を減らす。これにより、急激なデータの変化を音量の変化で表わす。
- ・音色：「さくら」においては、音色の選択が可能なため、複数の観測データに異なる音色を割り当てる。ピアノ、バイオリン、トランペット、クラリネットという形でオーケストラの主要な楽器を順次、異なる観測データの種類ごとに割り当てることとした。

なお、音符、音程、音量、音色ともパラメータ化しているため、今後さらなる評価の結果を踏まえて、変更していくことが可能である。また、音楽の演奏スピードであるテンポについても、「さくら」では変更可能であるため、パラメータとして設定可能とした。

3.2.2 可聴化結果の検証

本研究における可聴化としては、海面水温、海上風および海面高度の観測データを採用することとした。観測時期としては、エルニーニョでない時期（1998年12月）とエルニーニョ現象がもっとも顕著であった1997年12月のデータ利用することとした。観測データの領域としては、エルニーニョ現象を確認するのにもっとも有用な領域である赤道域の太平洋である東経160度から70度、緯度が南緯10度から北緯10度までを選択した。Table 1に利用した観測データを示す。

これらのデータは、JAMSTECのk7-dabase 新世紀重点研究創生プラン(RR2002) 人・自然・地球共生プロジェクトで整備されたデータベースに登録されているもので、東北大学などの研究者により解析された結果をデータベース化したものである⁶。

これらのデータを本研究により構築した可聴化処理することによって、エルニーニョ現象を聴覚的に判断できるかどうかを、データを可視化したものと比較しながら検証した。緯度方向および経度方向のどちらかの1次元で、観測データを読み込み、音にすることにより可聴化を実現した。たとえば、緯度方向であれば北極から南極から北極という形で同じ経度での観測データを読み込むことになる。海面水温、海面高度および海上風のデータはそれぞれグリッド間隔が異なり、900×200、360×80、270×60であったため、すべてのデータを270×60の同じグリッド間隔にサブサンプリングした後に可聴化した。

Fig.2にTOPEXのデータを可聴化の前処理として、観測データを3オクターブの21音程に正規化したデータを可視化したものと、もとのデータのそのまま可視化したものを示す。このFig.2により、もとのデータの変化が音程の変化に間

Table.1 Remote Sensing Data List

海面温度	TOPEX	270 × 60	1997/12, 1998/1, 1998/12	北緯10度から南緯10度 東経160-70度
海面水温	NOAA AVHRR など	900 × 200		
	TRMM/TMI	360 × 80		
海上風	TRMM/TMI 11GHz	360 × 80		
	TRMM/TMI 37GHz	360 × 80		

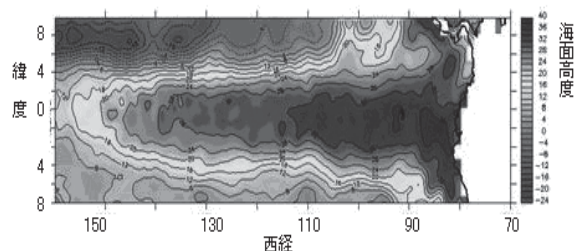


Fig.2a Auditory data

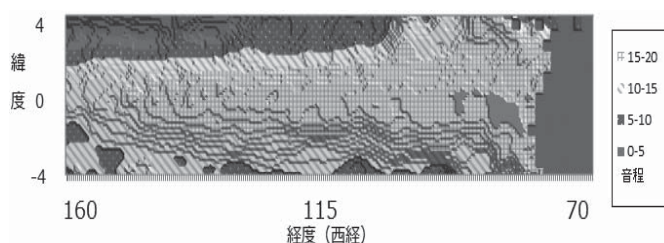


Fig.2b Visualized data

Fig.2 Auditory and Visualized data of sea level by TOPEX on December, 1997

⁶ http://www.jamstec.go.jp/frcgc/k7-dbase2/search/oandv_data.html

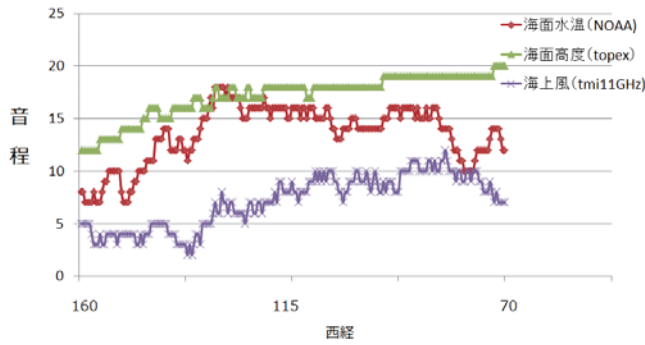


Fig.3 Change of geophysical parameters (SST, sea level) on December 2007 in direction of longitude of interval in equator

Track(3)
Voice(70)
Tempo(500)
d[o(3) v(80) l(6)] d[o(3) v(79) l(8)] d[o(3) v(83) l(8)]
d[o(3) v(82) l(8)] d[o(3) v(78) l(8)] e[o(3) v(83) l(32)]
d[o(3) v(79) l(6)] d[o(3) v(78) l(6)] d[o(3) v(82) l(6)]
d[o(3) v(80) l(8)] d[o(3) v(80) l(10)] d[o(3) v(78) l(10)]
d[o(3) v(82) l(16)] e[o(3) v(81) l(8)] e[o(3) v(80) l(8)]
d[o(3) v(77) l(32)] e[o(3) v(87) l(6)] e[o(3)]

Fig.4 Example of "SAKURA" sentence to play music

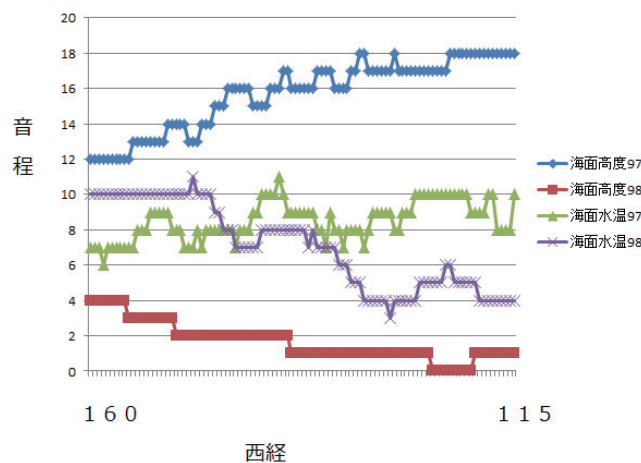


Fig.5 Auditory data of 1997 and 1998

題なく写像されていることが視覚的に確認できる。また、Fig. 3 に緯度 0 度で西経 160 度から 70 度まで動かしたときの海面水温、海上風、海面高度の変化を示す。音程とともに、3 章で述べたように、音の長さと音符の長さにもマッピングした。「サクラ」の表記方法 (MIDI 表記) にあわせて作成した音楽のテキストの抜粋を、Fig. 4 に示す。このようにして作成した音楽テキストを「サクラ」に読み込ませることにより、可聴化を実現した。

Fig. 5 は、エルニーニョに関する物理量を可聴化した際の音程の変化をグラフにしたものである。可聴化の場合には、異なる楽器ないしは、異なる音程を割り当てることにより、オーケストラの楽器が増えていくことになり、人間は違いを聞き比べることが可能であり、特別な演算やルールを適用しなくても、そのちがいを判別することが可能である。実際に、可聴化した結果、あきらかに 97 年と 98 年の楽器の音程が異なり、容易に区別することができた。

もちろん、可視化において、今回のターゲットとした 97 年、98 年のデータからのエルニーニョ現象の特徴の把握は、可聴化よりも高い判読分解能により可能である。しかしながら、空間的あるいは波長的に高分解能化し、膨大にアーカイブされる全球の物理量のデータから、エルニーニョにつながる予兆の情報を効率的に見つけることは膨大な労力が必要である。したがって、怪しいと思われるところを、可聴化によりブラジニングし、その後、可視化することにより、詳細を調べるのが有効と考えられる。事実、今回の領域のデータを繰り返し、確認した際、可視化では画面を継続的に見続ける必要があった。可聴化では、繰り返して流しておき、バックグラウンドとして聞くという形での情報検出ができた。

3.3 かぐやの SP データの可聴化

月周回衛星「かぐや」の観測機器の 1 つであるスペクトルプロファイラ (SP) は、かつてなく高い空間分解能と波長分解能、広い帯域を持つのが特徴で、得られたスペクトルを、さまざまな鉱物の固有の吸収スペクトルと照合することで、月表面に分布する物質の鉱物種 (輝石、カンラン石、斜長石など) を識別した。特に、SP では、月の形成・進化の謎のカギを握る月内部からのカンラン石の月表面上での分布とその起源が世界で初めて明らかにしている [4]。この SP のデータ解析

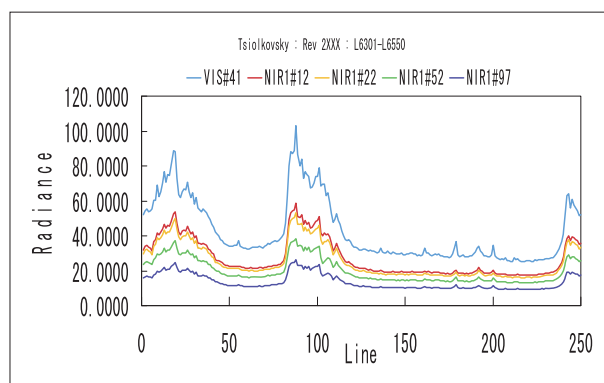


Fig.5 かぐや スペクトルプロファイラ (SP) 輝度値 (Tsiolkovsky 付近)

研究においては、SP で得られた各波長の観測データを可視化し、動画にしたものを利用することにより、鉱物種、特にカンラン石の所在を調査した。

この可視化データの動画表示によるデータ解析を、可聴化に置き換えた場合について、Moonbell や「サクラ」を使った可聴化システムを参考にして実装した。具体的には、SP の可視と近赤外の合計 5 バンドのツオルコフスキークレータ付近のデータをそれぞれ異なる楽器にわりあてた。Fig.5 に当該領域のデータをグラフ化したものを示す。この可聴化の結果の音の違いからカンラン石の存在の有無を SP 研究チームに確認してもらっている。

4. まとめ

今回の研究により、複数の物理量の同時の可聴化と、そのデータを使った可聴化ブラウジングによる有意な情報の抽出の可能性を示唆することができた。今後は、空間的な特徴抽出に加えて、さらに多くの時系列的な特徴抽出において、今回の可聴化システムを適用することにより、可聴化ブラウジングの有効性をさらに検証することが必要である。加えて、他の物理現象、特に、特徴が顕著ではないケースについて適用していくことにより、本可聴化の有効性をさらに検証していくことが重要である。

謝辞

本研究を進めるにあたって、かぐやの可聴化プロジェクトとして御助言をいただきました国立環境研究所の山本聡さん、Moonbell プロジェクトの東泉一郎さん、島田卓也さん、JAXA SELENE プロジェクトのメンバー、ならびに日本福祉大学の宇野伸一郎さんに深く感謝いたします。

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] 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, 古澤文江: 科学データ可聴化プロジェクトープロジェクト立ち上げと初期データ公開ー, 日本福祉大学情報社会科学論集 第 10 巻, 2007
- [3] 月周回衛星かぐや (SELENE) レーザ高度計 (LALT) データの可聴化について 274-277
祖父江 真一, 荒木 博志, 田澤 誠一, 野田 寛大, 奥村 隼人, 東泉 一郎, 島田 卓也, 比嘉 聡, 小林 江里子 日本リモートセンシング学会誌 Vol. 28 (2008), No. 3
- [4] LODHA, S. JOSEPH, A. and RENTERIAL, J., Audio-visual data mapping for GIS-based data: an experimental evaluation, proceeding of the 8th ACM international conference on Information and knowledge management, USA, pp41-48, 1999
- [5] 山本 聡, 中村 良介, 松永 恒雄, 小川 佳子, 石原 吉明, 諸田 智克, 平田 成, 大竹 真紀子, 廣井 孝弘, 横田 康弘, 春山 純一, Possible mantle origin of olivine around lunar impact basins detected by SELENE, Nature Geoscience, July 4, 2010