

多様な環境においてデジタル立体地球儀を実現するための ダジック・アースの開発

齊藤 昭則^{*1} 津川 卓也^{*2} 市川 浩樹^{*3} 島田 卓也^{*4}

Development of Dagik Earth to utilize digital globe
for various purposes

Akinori SAITO^{*1} Takuya TSUGAWA^{*2} Hiroki ICHIKAWA^{*3} Takuya SHIMADA^{*4}

Abstract

Three-dimensional digital globe that uses a spherical screen can display the time series of Earth and planetary science data, and space science data in 3D. The usage of it has been limited in large-scale science museums because the system is complicated, and costs many resources. A digital globe system, Dagik Earth, has been developed to utilize it for various purposes with low cost. Dagik Earth consists of 1) computer 2) PC projector 3) spherical screen, and 4) controller. Various sizes of spherical screens from 8cm to 16m, and various types of controllers, such as track-ball, touch-pad, and game-controllers can be used for Dagik Earth. Three types of digital globe software have been developed. “Chikyu Kuru Kuru (CKK)” is used on PCs with Windows and Mac. “Dagik earth On theWeb (DOW)” is executed on Web browsers on various devices. “Dagik Earth Appli” is for iPad tablet device. Using these software, Dagik Earth can be used with various type of computers including tablet PCs and smart phones. All of these three Dagik Earth software use a common set of data and image files. The set of data and image files consist of 1) surface map image files, 2) caption image files, and 3) configuration files. Users of Dagik Earth can create and present their own set of files. Dagik Earth enables to utilize digital globe in classrooms and science exhibition for which the conventional large-scale digital globe cannot be used.

Keywords: digital globe, virtual globe, 3D visualization, Earth and planetary science, public outreach

doi: 10.20637/JAXA-RR-16-007/0012

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

^{*1} 京都大学 (Kyoto University)

^{*2} 情報通信研究機構 (National Institute of Information and Communications Technology)

^{*3} 愛媛大学 (Ehime University)

^{*4} CrossHat

概要

球形の立体ディスプレイに地球画像やデータを表示するデジタル立体地球儀は従来の地球儀に比べて表示画像を動的に変更することが可能であり、科学館での多様な地球惑星科学・宇宙科学データの展示に用いられている。このデジタル立体地球儀を多様な環境で容易に実現するシステム「ダジック・アース」の開発を行った。ダジック・アースの構成機器は、1) 表示デバイス、2) PC プロジェクター、3) 球形スクリーン、4) コントローラーの4点である。球形スクリーンとしては直径8cmのものから直径16mのものまで用いられており、コントローラーはトラックボール、タッチパッド、ワイヤレスマウス、ゲームコントローラーなど多様なものが用いられている。表示デバイス上で実行されるダジック・アース表示ソフトは、1) Windows 及び Mac 搭載のパソコンで実行ができるダジック・アース表示ソフト「Chikyu Kuru Kuru(CKK)」、2) 多くのデバイス上のウェブブラウザで実行ができる「Dagik earth On the Web (DOW)」、3) タブレット端末 iPad で実行ができる「ダジック・アース・アプリ」の3つが開発されており、多様な表示デバイスでの実行が可能である。いずれの表示ソフトも同一の「ダジック・アース・コンテンツ」ファイルを用いており、一つのコンテンツを開発することで多くの環境での表示が可能となる。「ダジック・アース・コンテンツ」ファイルは、1) 球面画像ファイル 2) 説明画像ファイル 3) 設定ファイル、の3種類のファイルからなり、利用者が独自に作成し表示することも可能である。従来は限られた科学館のみで使われていたデジタル立体地球儀がダジックアースによって学校での授業や科学イベントなど多様な環境で実施できるシステムが整備された。

1 はじめに

地球儀をソフトウェアで表現する Virtual Globe ソフトは 2004 年公開の NASA による World Wind¹⁾ によって地球惑星科学データの可視化に用いられるようになり、2005 年公開の Google による Google Earth²⁾ によってより広く利用されるようになった^{3,4)}。GoogleEarth は Keyhole Markup Language(KML) で記述したファイルを用いることでユーザーが画像やオブジェクトを Google Earth 上に表示させることが容易であり、地球科学データの可視化に多く用いられるようになった。Saito らは KML ファイルを用いた地球惑星科学データの可視化データベースである Dagik を開発し⁵⁾、様々なデータの Quick Look(簡易表示)を Google Earth 上で表示できる環境を構築した⁶⁾。

同時に Saito らは Virtual Globe ソフトの表示画面を PC プロジェクターを用いて球形のスクリーンに投影することで、デジタル立体地球儀表示ができることを着想し、ダジック・アースとして^{7,8)} その利用環境の整備を進めた。デジタル立体地球儀とは球形の立体ディスプレイに地球画像やデータを表示するもので、従来の地球儀に比べて表示画像を動的に変更することが可能で多様なデータの表示を行うことができる。また Virtual Globe ソフトによる平面ディスプレイでの表示では、球面である地表面の形状は広範囲を表示するときには大きくゆがんで表示されるのに対し、デジタル立体地球儀では地球全体を正しい形状で表示することができる点が特徴である。また、宇宙から地球を見るような視点で地球全体を眺めることが可能であるため、一般向けの展示機材として適している。ダジック・アースの最初の展示は 2007 年日本地球惑星科学連合同大会において実施された。

デジタル立体地球儀としては、日本科学未来館が大型のシステムである Geo Cosmos⁹⁾ を開発・運用しており、米国大気海洋局 (NOAA) による Science On a Sphere (SOS) が多くの科学館で

用いられている¹⁰⁾。これらのシステムが専用の機器を用いた大規模なものであるのに対し、ダジック・アースは通常のパソコンと PC プロジェクターを用いたものであり、従来の科学館での利用だけではないデジタル立体地球儀の幅広い利用が期待される。ダジック・アースはその特徴を活用するため、多様な環境での実施を目指して開発が進められた。また、多様なデータの表示も目的としており、ユーザーが独自にコンテンツを作成して表示できるようにすることでより多様なデータが表示できるようことを目指している。

本稿においては、このような多様性を実現するためのダジック・アースのソフトウェアについて記述する。まずダジック・アースのシステムについて概観し、そのシステム構成上の課題を述べ、その後、その課題を解決するためのシステムをコンテンツの構成、表示ソフトウェアに分けて述べる。

2 ダジック・アース・システムの構成機器と開発上の課題

ダジック・アースによるデジタル立体地球儀の様子を Fig. 1 に示した。左図は 2011 年 8 月 28 日に国立科学博物館で行われた展示の様子である。左側手前に設置された直径 2m の風船式の球形スクリーンに右側奥に設置された PC プロジェクターから投影している。アフリカからアラビア半島、インドにかけての領域の陸地と気象衛星による雲画像が投影されているが、球面上に正しい形状で投影されていることが分かる。中央の観覧者が、床に設置された白い四角形のゲームコントローラーに乗り、地球画像を操作しながら、その左側の説明者より解説を受けている状況である。PC プロジェクターとパソコンは机の上に設置されている。右図は、内部に PC プロジェクターを格納した箱に設置した半透明半球形スクリーンに内部から投影している例である。この場合は表示デバイス及びコントローラーとしてタブレット端末 iPad を使用している。



Figure 1: ダジック・アースによるデジタル立体地球儀展示例 (左) 直径 2m 球形スクリーン使用例 (右) 裏面投影半球形スクリーン使用例

ダジック・アースの機器の構成を Fig. 2 に示した。構成要素は、1) 表示デバイス、2) PC プロジェクター、3) 球形スクリーン、4) コントローラーの 4 点である。表示デバイスはパソコン、タブレット端末などであり、この機器で Virtual Globe ソフトであるダジック・アース表示ソフトが実行される。表示ソフトでは球形スクリーンに投影した時に正しい形状に表示される形で地表面画像を表示しており、その画像は接続された PC プロジェクターに出力され、球形スクリーンに投影される。コントローラーは表示デバイスに接続され、表示ソフトの操作に用い

られる．この操作とは，表示される地球画像の回転などの操作や，表示されるコンテンツの選択などである．Fig. 1 に示した例では，上に乗り体重移動で操作をする形態のゲームコントローラーが用いられている．

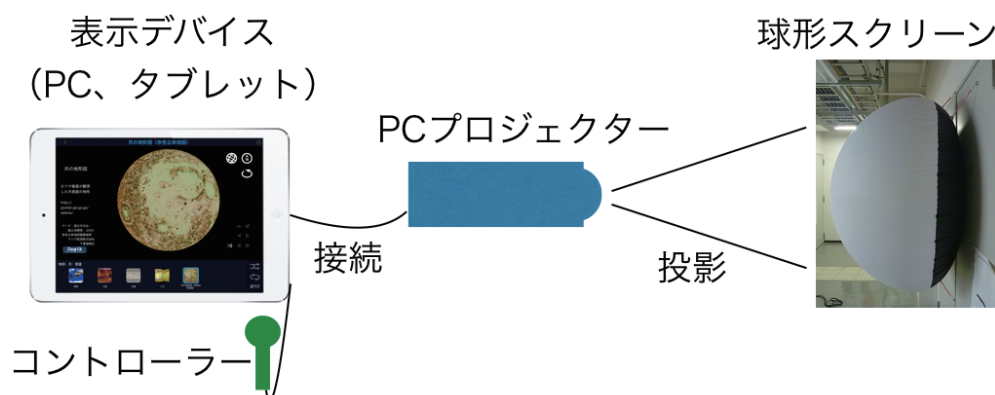


Figure 2: ダジック・アースの構成機器

多様な環境でデジタル立体地球儀を実現するために，多くの表示デバイスに対応することがシステムの開発において課題とされた．そのためのダジック・アース表示ソフトとしては，Windows 及び Mac 搭載のパソコンで実行できるダジック・アース表示ソフト「ChikyuKuru Kuru (CKK)」，多くのデバイス上のウェブブラウザで実行ができる「Dagik earthOn the Web (DOW)」，タブレット端末 iPad で実行ができる「ダジック・アース・アプリ」の3つが開発されている．これらにより，多くの表示デバイスを用いることが可能となっている．

ダジック・アースの投影に用いられる PC プロジェクターは通常のものであり，レンズなどに特殊な変更を加えられていない．球形スクリーン上の投影画像の各点から PC プロジェクターまでの距離差は，平面スクリーンへの投影で想定されている距離差とは異なるため，投影画像上で焦点が合わない部分が生じるが，多くの PC プロジェクターにおいてその焦点ずれによる画像のブレはさほど大きくはなく，投影に大きな影響を与えない．

PC プロジェクターから球形スクリーンへの投影方法は以下の2通りである，1) 球形スクリーンの球面に対して，球の中心と反対方向に PC プロジェクターを設置する場合 2) 球形スクリーンの球面に対して，球の中心と同一方向に PC プロジェクターを設置する場合．1) の場合は Fig. 1 (左図) や Fig. 2 に示した配置であり，球面の外側から投影する形態となる．この場合は，球形スクリーンは光を反射する素材のものとなる．1 台の PC プロジェクターによって半球への投影が可能であり，全球形ではなく半球形のスクリーンが用いられる場合も多い．PC プロジェクターの設置位置がスクリーンに近い場合は，1 台の PC プロジェクターから投影可能な領域は半球より狭くなることがある．複数の PC プロジェクターを用いることによって投影領域を半球よりも広げることが可能である．CKK では，2 つのウィンドウに異なる視点から見た地球画像を表示し両者を同期させて操作することができる．この2つのウィンドウを PC に接続した2つの PC プロジェクターに個々に出力し，球形スクリーンの両側から投影することによって広範囲な投影が可能である．この投影方法に用いられる球形スクリーンとしては，半球形，全球形という形状の違いだけではなく，大きさも直径 8cm から直径 16m までの多様なものが用いられており，その材質も風船式のビニールによるもの，発泡スチロール，FRP など様々なものが使用されている．

2) の場合は，球面の内側から投影する形態であり，Fig. 1 (右図) に示した配置である．この場合は，光を透過する半透明の素材で作られた球形スクリーンを用いることとなる．この配

置の投影では魚眼レンズなどを用いた超近接投影用のプロジェクターも使用可能である。半球形のスクリーンが用いられることが多いが、魚眼レンズを用いた PC プロジェクターの投影性能によって、半球形以上の広い領域の球形スクリーンへの投影も可能である。CKK では角度幅 270 度の投影まで対応しており、北極頂点として投影した場合、南緯 45 度以北の投影が可能となる。2) の投影方法における球形スクリーンとしては、直径 15cm から直径 1m までが用いられている。

立体地球儀投影のためには球形スクリーンを用いる必要があるが、平面スクリーン及びディスプレイでの投影であっても、地球画像を回転して異なる角度から見ることによって、表示されているものが球体であると認識することができるため、球形スクリーンが利用できない場合には簡易な表示として平面スクリーン及びディスプレイを用いることも可能である。

コントローラーは、地球画像の回転操作、時系列画像の再生・停止操作などや、メニューによってコンテンツの選択を行うために用いられる。デジタル立体地球儀の用途と利用形態によって多様なコントローラーが使用できるようにすることが開発の課題であった。そこで表示デバイスとしてパソコンを用いる CKK と DOW では、マウスとキーボードの両方による操作に対応させ、使用するコントローラーからの入力をマウスあるいはキーボードの入力信号に置き換えることで、多様なコントローラーの使用を可能にした。使用されているコントローラーはマウス、キーボード、トラックボール、タッチパッド、タッチディスプレイ、ワイヤレスマウス、ゲームコントローラー、ジョイスティック、ジェスチャーコントローラー、QR コードリーダー、NFC リーダーなど多岐にわたっている。

上記のように、4 つの構成機器に関していずれも多様な機器に対応することがダジック・アースの特徴であり、それにより幅広い用途での利用を実現している。そのような多様性への対応とコンテンツ開発の容易さの実現が開発における課題であった。

3 ダジック・アース・コンテンツの構成

表示デバイス上で実行されるダジック・アース表示ソフトは、Fig. 3 に示したように、一つのテーマによる画像などから構成された「コンテンツ」と、その複数のコンテンツの一覧を表示し、実行する「コンテンツ」を選ぶ「メニュー・プログラム」の 2 つから構成される。表示ソフトは上記のようにパソコン・ソフト「CKK」、ウェブブラウザ用「DOW」、タブレット用「ダジック・アース・アプリ」の 3 つが用いられているが、「コンテンツ」はこれら 3 つに共通で用いられる形式となっている。「コンテンツ」のテーマは、春の雲の動き、日本にきた台風、オゾン量の変化、台風・ハリケーン等の発生場所と海面温度、海面近くの海水の塩分、世界の地震分布、海洋底の拡大、地球と月と惑星、月の満ち欠け、金星の雲：「あかつき」の観測、星の配置、宇宙からみたオーロラ、日本最古の地球儀、クイズ：地球の昼と夜、などであり、約 150 コンテンツが作成されている。リアルタイム・コンテンツは実時間に近いデータを表示するものであり、サーバーから画像ファイルのダウンロードを行い、表示するものである。

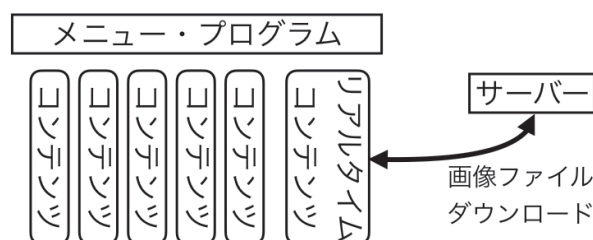


Figure 3: ダジック・アース表示ソフトの構成

ダジック・アースのコンテンツの構成は、Fig. 4 に示したように、すべてのコンテンツに共通する表示ソフトである CKK 及び DOW と、各コンテンツごとに異なる、1) 球面画像ファイル 2) 説明画像ファイル 3) 設定ファイル、の 3 種類のファイルからなる。これらのファイルのファイル名あるいは保存されているディレクトリは Table 1 にまとめられている。表示ソフトとしては、Windows 用の CKK の実行形式が Dagik Earth.exe, Dagik Earth 64bit.exe として含まれている。Dagik Earth 64bit.exe は 64bit Windows 用の実行形式である。Mac 用の CKK は Dagik Earth.app として含まれている。DOW はウェブブラウザで表示されるため HTML 形式のファイルとして作成されており、index.html, index-english.html, index-chinese.html として含まれている。index-english.html と index-chinese.html はそれぞれ英語用、中国語用の DOW である。



Figure 4: ダジック・アース・コンテンツの構成

Table 1: ダジック・アース・コンテンツの構成ディレクトリ名及びファイル名

	ファイル名・ディレクトリ名	ディレクトリ名 (第2レイヤー)
表示ソフト：CKK	Dagik_Earth.exeなど	
表示ソフト：DOW	index.htmlなど	
地表画像	data/images/map	data/images/map_second
説明画像	data/images/screen	data/images/screen_second
説明画像 (英語)	data/images/screen-english	data/images/screen_second-english
設定ファイル：コンテンツ毎	data/conf/conf.txt	
設定ファイル：共通	data/conf/init_conf.txt	
設定ファイル：DOW	data/conf/dow_conf.txt	

3.1 球面画像

球形スクリーン上に表示される球面画像は、正距円筒図法 (Equirectangular projection) で描画されたものを用いる。Fig. 5 に、球面画像ファイルの例を示した。経度幅 360°, 緯度幅 180° の球面を横と縦の比が 2 : 1 となる画像として表現しており、この例では緯度、経度それぞれ 10 度ごとに点線、30 度ごとに実線を引いている。画像ファイルの形式は JPEG が用いられている。解像度は、ダジック・アース表示ソフト「Chikyu Kuru Kuru(CKK)」で用いている OpenGL の古いバージョンにのみ対応しているパソコンでは画像の画素数が 2 の乗数以外では不具合があることがあるため 1024 ピクセル× 512 ピクセル、2048 ピクセル× 1024 ピクセル、4096 ピクセル× 2048 ピクセルなどが用いられているが、多くのコンテンツでは投影に用いられる PC プロジェクターの解像度と同程度の解像度になる 2048 ピクセル× 1024 ピクセルが多く用いられている。

球面画像ファイルが保存されているディレクトリは Table 1 に記述されているように “data/

images/map”であるが、これは設定ファイルにより変更可能である。CKK に用いられる第 2 レイヤーの球面画像ファイルは “data/images/map second” に保存されている。

3.2 説明画像

Fig. 6 に、説明画像ファイルの例を示した。この例ではコンテンツの題名とロゴのみが表示されているが、説明画像ファイルには、コンテンツの題名、データについての説明、データ提供元、コンテンツ作成者などの情報が記入される。またこれらの説明を多言語に表示するため、それぞれの言語に応じた説明画像ファイルが作成されている。Fig. 6 左図は日本語の説明画像ファイルであるが、同様のものを英語にしたものが Fig. 6 右図であり、このように、説明画像ファイルを日本語、英語、中国語にて作成し、表示ソフトによってどの言語の画像ファイルを用いるか選択することで、これらの 3 言語での表示を可能にしている。

説明画像ファイルが保存されているディレクトリは Table 1 に記述されているように “data/images/screen” であるが、これも設定ファイルにより変更可能である。CKK に用いられる第 2 レイヤーの球面画像ファイルは “data/images/screen second” に保存されている。

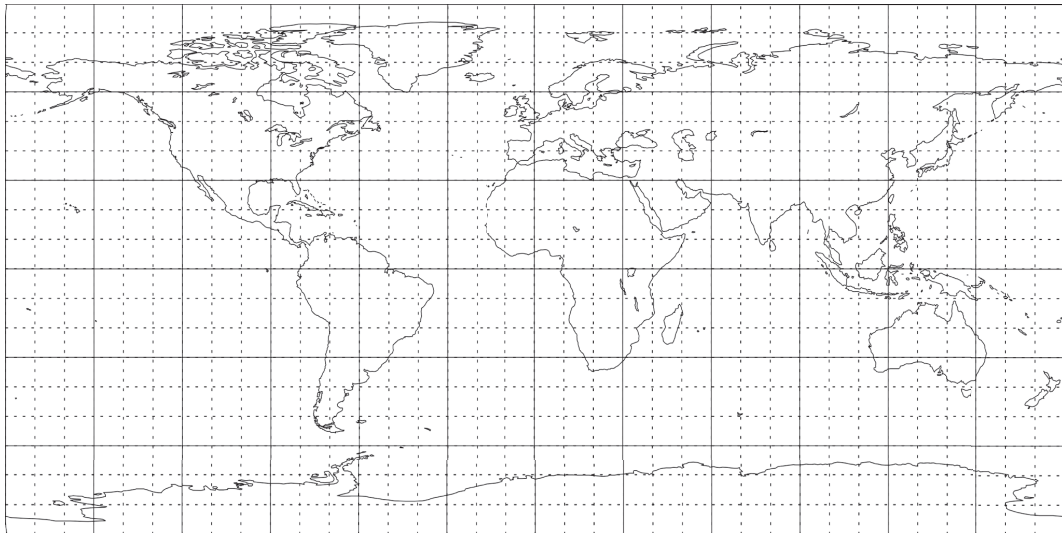


Figure 5: 球面画像ファイルの例. 正距円筒図法 (Equirectangular projection) で描画されている。

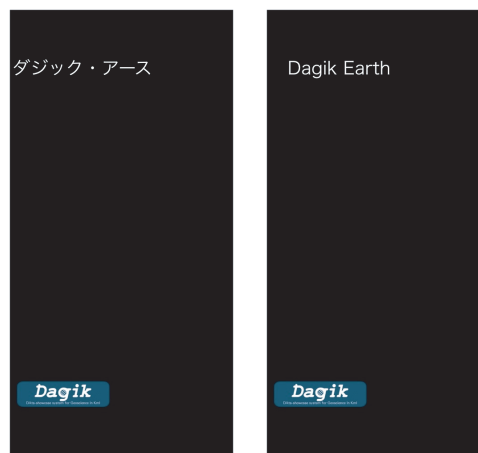


Figure 6: 説明画像ファイルの例. (左) 日本語用のファイル例, (右) 英語用のファイル例.

3.3 設定ファイル

球面画像ファイルと説明画像ファイルを用いたダジック・アース表示ソフト CKK による表示を Fig. 7 に示した。球面画像ファイルは球体上にマッピングされ、マウスとキーボードによって操作することができる。球面画像描画の投影法は、この例では垂直投影 (orthographic projection) が用いられているが、透視投影 (perspective projection) での表示も可能である。垂直投影は、無限遠に設置された PC プロジェクターから球形スクリーンに平行光で画像を投影した場合に正しい形状で投影されるものであるが、短焦点型ではない多くの PC プロジェクターにおいて十分正確な投影が可能であり、歪みも少ないので多くの場合に用いられている。この例では画面上の右側に寄せて表示されているが、大きさや位置は設定ファイルによって変更可能である。説明画像ファイルは、この場合は球体の左側に表示されている。白枠で囲まれた部分が Fig. 6 右図で示した説明画像の表示されている領域である。この説明画像ファイルも画面上の任意の場所・大きさに表示することができる。一方、画面右側には操作のためのアイコンが表示されている。このアイコンの機能は、左上より時計回りに、終了、縮小、拡大、北を上にする、自転の開始・終了、緯度経度線の表示・非表示、書き込みモードの開始、再生速度を遅く、再生速度を速く、逆向き再生・停止、再生・停止、初期画像へ戻る、逆向きコマ送り、コマ送り、アイコンの非表示・表示、説明画像の非表示・表示、である。これらのアイコンの表示・非表示、表示位置、アイコン画像ファイルも設定ファイルで指定可能である。

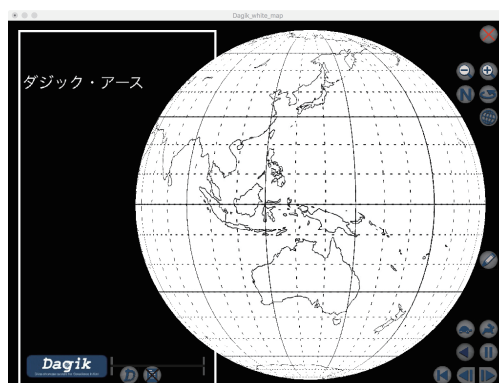


Figure 7: ダジック・アース表示ソフト CKK による表示例。

上記のように表示ソフトによる表示については、設定ファイルで設定ができる。Fig. 8 にその例を示した。ダジック・アースでは以下の 3 つの設定ファイルが使われている、1) 複数のコンテンツに共通する部分を書く `init conf.txt` 2) 各コンテンツに固有の設定を書く `conf.txt` 3) DOW 用の設定を書く `dow conf.txt`。設定はいずれのファイルでも共通の形式で行われ、同じ設定が可能である。表示ソフトにおいては 1), 2), 3) の順に読み込まれるため、後に読み込まれたファイルに書かれている設定が優先される。“#” で始まる行が有効な設定の部分である。これらの設定ファイルの保存場所は Fig. 1 の通りである。`init conf.txt` と `conf.txt` は、存在しなくてもデフォルト値が用いられるので問題ないが、`dow conf.txt` は DOW の実行には必ず存在しないといけない。

多言語表示のための設定ファイルは ‘data/conf/’ 以下に ‘lang-english.txt’ や ‘lang-chinese.txt’ として置かれ、最も最後に読み込まれる。この設定ファイルでは、それぞれの言語に対応した説明画像のファイル名の指定が行われている。

```
Initial Configuration file for Chikyu Kuru Kuru
Configuration line starts with single "#", e.g., #Latitude, #Spin.
```

```
#WindowSizeXY 1024 768
#WindowPositionXY 0 0
#FullScreen 0
#InvisibleCursor 0
#ClickLock 0
#NoMouseDragRotation 0
#PresentaionRemoteMode 0
#InertiaOfRotation 0.02 0.01 0.01 0.
#NumberOfEarth 1
#Scale 1.9
#EarthXY 0.3 0.0
#ScreenScaleXY 4.3 -2.6 1.9
#ScreenFront 0
#ScreenBGTransparency 255
#TimebarScaleXY .2 -1.6 -1.65
#Latitude 0.0
#Longitude 135.0
#Animation 1
#AnimationSpeed 8
#StopAt1stMap 1.0
#StopAtFinalMap 1.0
#Repeat 1
#Spin 0
#SpinSpeed 5 :[-200,200]
```

Figure 8: 設定ファイル

3.4 付属ファイル

各コンテンツには付属ファイルとして、情報 HTML ページ、解説ファイル、動画ファイル、手作り地球儀ファイル、が付属する。これらのファイルは必須ではなく、利用を支援するものである。情報 HTML ファイルは、コンテンツで表示されるデータの提供元、コンテンツ作成者、データの概要などが記述されており、コンテンツの利用者がより詳しい情報を得るのに利用されている。一部のコンテンツではコンテンツの説明画像にこの情報 HTML ページの URL(<http://dagik.org/L/1> など) が記載されている。解説ファイルは、コンテンツの内容を詳しく説明したものであり、授業や展示の解説の補助となるものである。動画ファイルは、コンテンツの表示状態を動画に収録したものであり、パソコンを用いずに動画ファイルのみによる投影に用いられる。

手作り地球儀ファイルは、それぞれのコンテンツについて通常の地球儀を作成するためのシートであり、ダジック・アースの表示ソフトと同じくダジック・アース・コンテンツを用いて作成される。Fig. 9 にその例を示した。これらは Fig. 5 に示した球面画像と Fig.6 に示した説明画像を用いて作成されている。上図は赤道が連続したもので 1 枚のシートになっている。下図は 6 枚の短冊状のシートからなっている。ともに球面画像部分を切り抜き、発泡スチロールやプラスチックなどの球体に貼り付けてそれぞれのコンテンツの地球儀を作成するものである。切り抜きと貼り付けが多少正確でなくてもズレの少ない地球儀を作成できるように、一つの地域を重ねて貼り付けるように図法が工夫されている。デジタル立体地球儀の実施環境がない家庭などでもデジタル立体地球儀で表示されるダジック・アース・コンテンツを再現することができるように、科学館などのワークショップでの作成に用いられている。作成された手作り地球儀を Fig. 10 にそれぞれの使用コンテンツ名とともに示した。この例では、直径 7.5cm のプラスチック球に貼り付けられている。

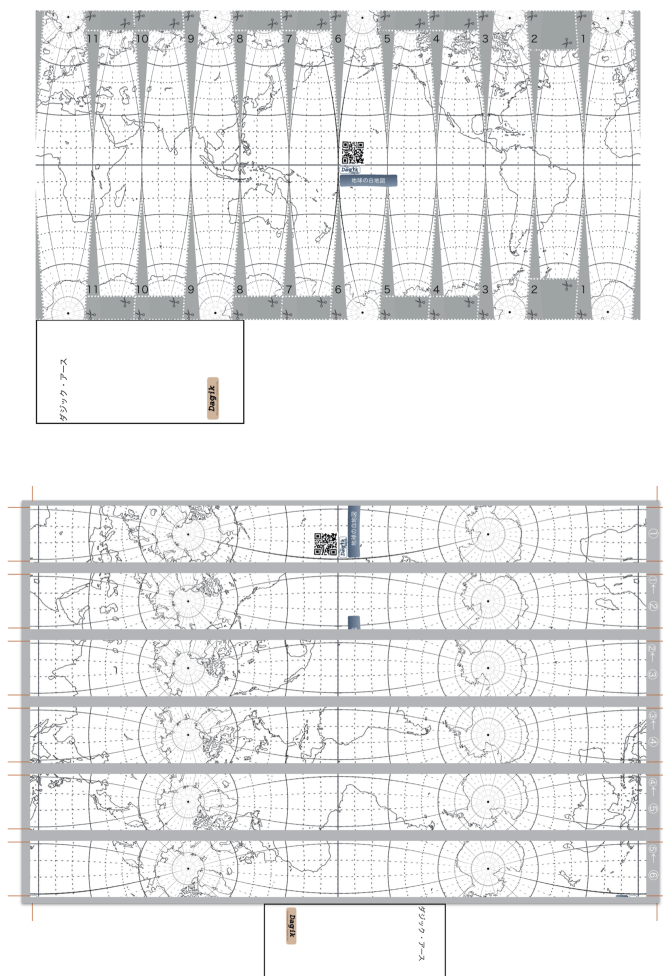


Figure 9: 手作り地球儀ファイルの例. (上) 赤道接続型シート, (下) 短冊型シート.

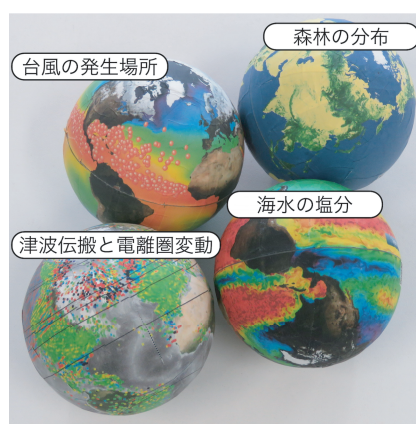


Figure 10: 作成された直径 7.5cm の手作り地球儀

4 表示ソフトウェア

ダジック・アースは多様なデバイスによって表示できることを目指しており、ダジック・アースの表示ソフトウェアとして 1) Windows 及び Mac 搭載のパソコンで実行ができるダジック・アース表示ソフト「Chikyu Kuru Kuru(CKK)」, 2) 多くのデバイス上のウェブブラウザで実行ができる「Dagik earth On the Web (DOW)」, 3) タブレット端末 iPad で実行ができる「ダジック・アース・アプリ」の 3 つが開発されている。上述のようにいずれも同一の「ダジック・アース・コンテンツ」ファイルを用いており、コンテンツの作成者はコンテンツを開発することで多くの環境での表示が可能となる。以下ではこれら 3 つのダジック・アース表示ソフトウェアについて述べる。

4.1 パソコンでの表示：CKK

パソコンでの表示ソフトウェアとして開発された CKK は C++ 言語で記述され、3D 表示のために Open GL¹¹⁾ を用いたライブラリ群である GLUT¹²⁾ を用いている。このため同一のソースから Windows と Mac の両方の実行形式が作成可能である。また、現在使用されている例はないが Linux での実行形式の作成も容易である。CKK による表示例は Fig.7 に示した。本稿の時点でのバージョンは 1.27 であり、その機能は Table 2 にまとめられている。「○」は対応している機能を示している。CKK は他のダジック・アース表示ソフトウェアに対して機能が多く、一つのコンテンツで二組の球面画像と説明画像が使用可能な「複数レイヤー」機能、マウスなどを使って自由に線での描画が可能な「書き込み」機能、CSV 形式のデータファイルを用いて任意の場所に線、印、矢印がプロット可能な「データプロット」機能などが利用でき、授業などの用途に用いられている。画像ファイルはサーバー上ではなくパソコンに保存されているため、それらのファイルを新たに作成することによりユーザーが独自のコンテンツを追加・使用することも可能である。「リアルタイム」機能はリアルタイムの球面画像、説明画像のダウンロードは別の補助プログラムを用いて行う必要があるが、表示可能である。引数で言語名を指定することで日本語以外に英語と中国語の説明画像の表示による多言語対応が可能であり、ダジック・アース・コンテンツの”zz_International”ディレクトリ以下にバッチファイルなどが置かれている。

CKK では個々のコンテンツが独立しており、それぞれのコンテンツのみで実行できるようになっている。そのため各コンテンツ毎に CKK の実行ファイルが含まれている。また、その反面、Fig. 3 で示したダジック・アース表示ソフトの構成のうち「メニュー」プログラムは CKK には含まれておらず、メニューから選択して利用する際には別のメニュープログラムを用いる必要がある。Windows では HTML Application (HTA) 形式で作成された「Dagik_Earth.hta」がメニュープログラムとして用意されており、Mac では他のソフトウェア・ランチャー・プログラムを利用することになる。

Table 2: ダジック・アース表示ソフトウェアの主な機能

	複数レイヤー	書き込み・ データプロット	ユーザーによる コンテンツ追加	リアルタイム	お気に入り登録	連続再生	多言語
パソコン・ソフト：CKK	○	○	○	△			○
ウェブ・ブラウザ：DOW			○	○			○
タブレット・アプリ				○	○	○	

4.2 ウェブブラウザでの表示：DOW

ウェブブラウザで実行ができる DOW は JavaScript 言語で記述され、3D 表示のために Web GL13) を用いたライブラリ群である three.js¹⁴⁾ を用いている。このため表示には WebGL が実行可能なウェブブラウザが必要である。DOW は表示用の index.html とそこから利用されている JavaScript ライブラリである dow.js からなる。dow.js などの JavaScript ライブラリはコンテンツ内の“data/js”ディレクトリに収納されている。DOW はオンラインとオフラインの 2 つの形態で利用可能である。サーバー上の <http://dagik.org/dow/> に置かれているダジック・アース・コンテンツのファイルを表示するオンライン型のもは Web 版ダジック・アースと呼ばれており、ローカルに保存したダジック・アース・コンテンツのファイルを表示するものは HTML 版ダジック・アースと呼ばれている。Web 版ダジック・アースは WebGL が実行可能なウェブブラウザが利用可能な多様なデバイスで利用可能であり、パソコンの他にスマートフォン、タブレットなどで利用できる。HTML 版はローカルに保存したファイルから JavaScript が実行可能な環境のみで利用可能である。多言語対応は多言語設定ファイルである‘data/conf/’以下の‘lang-english.txt’や‘lang-chinese.txt’の読み込みを指定することで行われて、その設定をしたものを‘index-english.html’や‘index-chinese.html’としてダジック・アース・コンテンツに含んでいる。

ウェブブラウザによる DOW の表示例は Fig. 11 の左図に示した。ほぼ Fig. 7 と同じであるが、機能の違いにより操作アイコンの表示が異なっている。DOW の機能は、Table2 にまとめられているように限定されているが、サーバー上にファイルが置かれてる Web 版ではリアルタイムに更新されるコンテンツの表示が可能である。また、他の表示ソフトに比べて対応しているデバイスの種類が多いのも特徴である。

メニュー・プログラムとしては、index.html が用意されており、そこから各コンテンツの index.html が呼び出されて実行される。メニュー・プログラムも多言語用に index-english.html や index-chinese.html が用意されている。

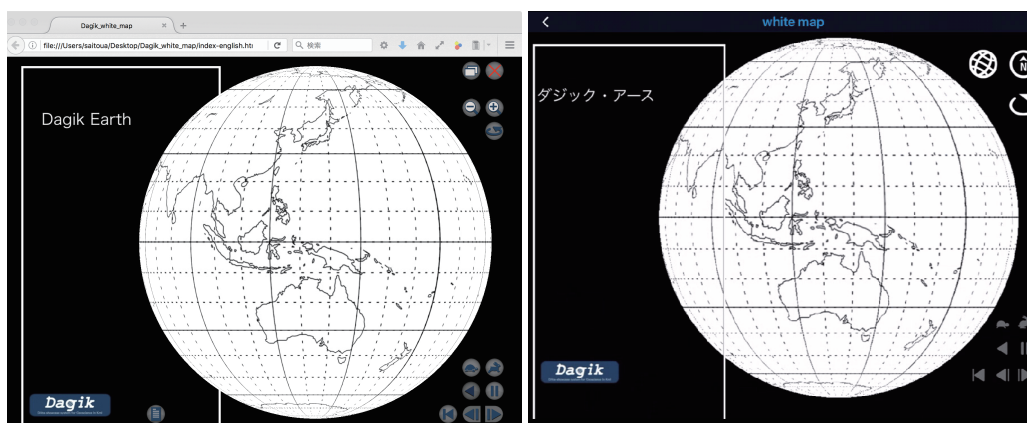


Figure 11: ダジック・アース表示ソフトによる表示例：(左) DOW による表示
(右) ダジック・アース・アプリによる表示

4.3 タブレットでの表示：ダジック・アース・アプリ

タブレット端末である iPad で実行ができるダジック・アース・アプリは Objective-C 言語で記述されている。2011 年発売の iPad2 以降の iPad で利用可能である。球面画像、説明画像、設定ファイルはサーバー上に置かれ利用に応じて各 iPad にダウンロードされ、保存されるが、

リアルタイム・コンテンツは iPad にはファイルは保存されず、表示毎にダウンロードされる。本稿作成時には日本語版のみが用意されており、多言語化はされていない。

他のダジック・アース表示ソフトと異なり、メニュー機能が付いており、アプリからコンテンツの選択と表示が可能であり、その機能を用いて、選択したコンテンツをグループにして登録する「お気に入り」機能や、選択したコンテンツを連続して表示する「連続再生」機能がある。その反面、コンテンツがサーバー上に登録されているため、利用者がコンテンツを作成して追加することはできない。

「ダジック・アース・アプリ」の表示例を Fig. 11 の右図に示した。ほぼ Fig. 7 と同じであるが、機能の違いにより操作アイコンの表示が異なっている。

5 まとめ

多様な環境においてデジタル立体地球儀を容易に実現するために「ダジック・アース」の開発を行った。システムを構成する表示デバイス、PC プロジェクター、コントローラーのいずれも広く使われている様々な機器が利用可能であり、球形スクリーンも直径 8cm のものから直径 16m のものまで多様なものが用いられている。表示デバイス上で実行される表示ソフトは多様なデバイスに対応するために 3 種類のもので開発されている。これらでは共通したコンテンツ・ファイルが使用されているためコンテンツの開発が容易であり、利用者が独自のコンテンツを作成・表示することも可能である。これによりコンテンツも多様なものが作成されている。従来は限られた科学館のみで使われていたデジタル立体地球儀が、ダジックアースによって学校での授業や科学イベントなど多様な環境で実施できるシステムが整備された。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省宇宙利用促進調整委託費（平成 21-23 年度）及び宇宙科学技術推進調整委託費（平成 25-27 年度）による研究開発として実施された。

参考文献

- 1) NASA World Wind, <http://worldwind.arc.nasa.gov>, 参照日：2016 年 10 月 27 日
- 2) Google Earth, <https://www.google.com/earth>, 参照日：2016 年 10 月 27 日
- 3) Butler, D., Virtual globes: the web-wide world. *Nature* 439: 776-778, 2006.
- 4) Lisle, R.J., Google Earth: a new geological resource. *Geology Today* 22: 29-32, 2006.
- 5) Saito, A, and D. Yoshida, Dagik: A Data-Showcase System for the Geospace, *Data Science Journal*, 8, S92-S95, doi:10.2481/dsj.8.S92, 2009.
- 6) Dagik: DATA-showcase system for Geoscience In Kml, <http://dagik.org>, 参照日：2016 年 10 月 27 日
- 7) ダジック・アース, <http://earth.dagik.org>, 参照日：2016 年 10 月 27 日
- 8) Ebisawa, K., Y. Koyama, A. Saito, S. Sakamoto, M. Ishii, Y. Kumano, Y. Hazumi, Dagik Earth and IUGONET, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Vol. 495,3-5, 2015.
- 9) 地球を感じる Geo-Cosmos ジオ・コスモス[常設展示つながり]－日本科学未来館 (Miraikan), <http://www.miraikan.jst.go.jp/exhibition/tsunagari/geo-cosmos.html>, 参照日：2016 年 10 月 27 日

- 10) What is Science On a Sphere, <http://sos.noaa.gov> , 参照日 : 2016 年 10 月 27 日
- 11) OpenGL - The Industry Standard for High Performance Graphics, <https://www.opengl.org>, 参照日 : 2016 年 10 月 27 日
- 12) GLUT - The OpenGL Utility Toolkit, <https://www.opengl.org/resources/libraries/glut>, 参照日 : 2016 年 10 月 27 日
- 13) WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web, <https://www.khronos.org/webgl> , 参照日 : 2016 年 10 月 27 日
- 14) three.js - Javascript 3D library, <http://threejs.org> , 参照日 : 2016 年 10 月 27 日