



AR 技術に基づく気象学学習のための インタラクティブ技術の研究

Research on Interactive Technologies for Meteorology Learning Based on AR Technology

WANG DAYI¹⁾, 望月 茂徳²⁾, 大島 登志一²⁾

Dayi WANG, Shigenori MOCHIZUKI, and Toshikazu OHSHIMA

1) 立命館大学大学院映像研究科 (〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, rugseizo@st.ritsumeai.ac.jp)

2) 立命館大学映像学部 (〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, rugseizo@st.ritsumeai.ac.jp)

概要: この研究は、直観的な気象知識の展示を学生に示すため、ユーザが仮想地形を操作によって生成し、その地形における気象現象のシミュレーション結果を観察できるシステムを開発する。シミュレーション対象となる気象現象は、海陸風、山谷風、ヒートアイランド現象などである。地形とシミュレーション結果の生成プロセスは完全に自動化されており、AR デバイスによりユーザに提示される。加えて、知識を理解しやすくする紹介パネルなどの機能も実装する。ユーザ体験とフィードバックによるプロジェクトの検証を行う。

キーワード: 地学教育、拡張現実、気象シミュレーション

1. はじめに

小中学生を対象とした地学の授業では、気象現象はそのスケールの大きさや相互作用の関係から、多くの場合、例図を使って授業を行う。この方法では、各気象現象の知識が孤立され、生徒が気象現象を実感的に理解・分析することが難しくなる。国立教育政策研究所^[1]も、平成 15 年度の小中学生を対象とした教育課程実施状況調査の報告で、自然現象に対する生徒の理解を深めるため、「結果を予測し、確認する」実験に基づく授業を提唱し、Steam 教育などの教育手法の重要性も強調している。

そのため、私たちは気象学の知識をより直感的で興味深い方法でユーザに提示することを目的として、この装置を構想した。プロジェクトは図 1 のように AR 技術やインタラクティブ装置を地学教育に導入する。この技術に関連ある先行研究は、サンドボックス投影^[2]や画像認識による生徒の描いた絵をもとにした地形生成^[3]などがある。先行研究と比べ、より高いインタラクティブ性と直感的に操作・観察できることを目指している。この研究の体験で、ユーザは角型デバイスを配列することで仮想地形を自由に生成でき、生成した地形と地形の中に発生する可能性がある気象現象のシミュレーションの結果を観察できる。シミュレーションの結果は、地形に基づいて自動的に生成され、海陸風、山谷風、ヒートアイランド現象などの現象が含まれ、これらの現象が相互に影響しあうことで、ユーザは仮説か

ら検証へと継続的な実験のプロセスを踏むことができる。

2. 実現方法

この章では、プロジェクトの構成と各部分の実現方法について説明を行う。

2.1 概要

このシステムは、インタラクティブ装置の基盤、地形データを操作する複数の小さいインタラクティブデバイス、PC、AR 装置で構成されている。

インタラクティブ装置の基盤には 16 の穴があり、各穴にはセンサが内蔵され、マイクロコントローラを介して PC に接続されている。各小さいデバイスは、別々の地形を表している。ユーザが任意のデバイスを穴に入れると、

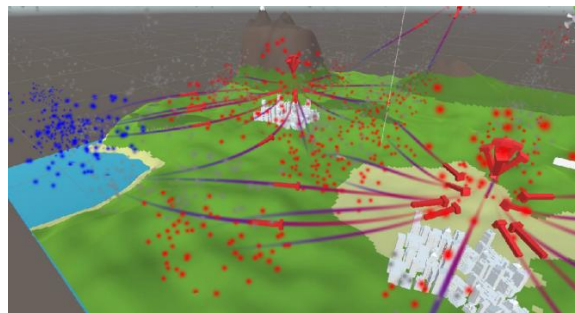


図 1 プログラム内のシーン

センサがそのデバイスに対応する地形情報を認識し、すべての情報が統合された後 PC に送信される。パソコン内のプログラムは、受け取った地形情報に従って、地形生成アルゴリズムと気象シミュレーションアルゴリズムを行い、仮想地形を生成し、気象シミュレーションの結果と一緒に表示する。最後に、仮想地形と気象シミュレーションの結果は、AR デバイスを通じてビジュアライズされ、ユーザーに示される。(図 2 参照)

ハードウェアに関しては、装置のモデルは 3D プリンティングで作られている。装置に使用されているマイクロコントローラは Arduino R3 で、16 個のセンサに接続され、小さいデバイスの底面にあるパターンなどで表される地形情報を判別する。この方法は、デバイスの製作や取り替えが簡単で、他の認識方法に比べてマイコンの計算能力や装置の大きさが少なく済むという利点がある。

2.2 地形生成アルゴリズム

地形生成機能の実現は Sebastian Lague の地形生成動画チュートリアル^[4]を参照した。まず、Berlin 関数^[5]を使ってランダムな地形を生成する。次に、集めた地形情報に従ってフィルタ関数を生成し、ランダムな地形の各領域の高さを調整する。最後に、ガウスぼかし^[6]を用いて各領域の境界を柔らかくし、生成された地形に色を付けて美化す

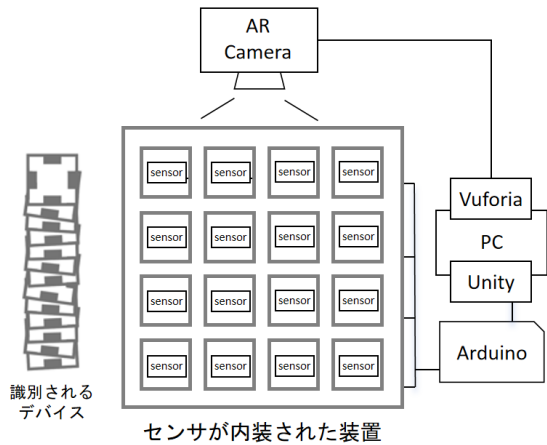


図 2 システム概要

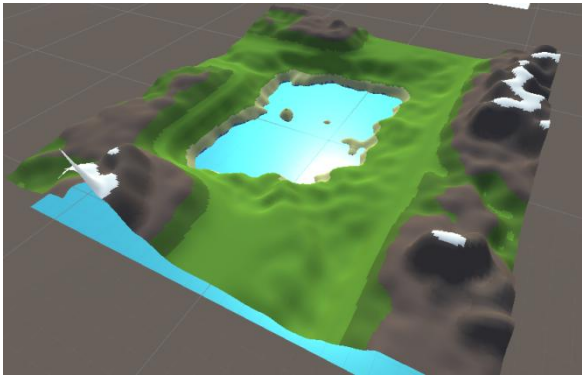


図 3 地形生成の結果

る。また、ユーザは地形に都市部を生成することもできる。これにより、生成された地形がより自然に見えるようになり、気象シミュレーション結果の表示も容易になる。(図 3 参照)

2.3 気象シミュレーションアルゴリズム

気象シミュレーションアルゴリズムは、必要な計算量と実装の難しさを配慮し、専門的な高精度気象シミュレーションではなく、自作のボリュームデータ^[7]アルゴリズムを用いている。このアルゴリズムは、地形情報に従って、仮想地形内の合計 64 個のボクセルの温度変化と相対気圧値を計算し、計算結果から空気の流れの状況を判断する。計算流れの構想は以下の点に沿っている。

- 全てのボクセルを判断し、仮想地形の地下に対応しているボクセルは後の計算に参加しない。
- 特殊地形ボクセル(水面、都市、森、山など)の位置を確認し、そのボクセルと周りのボクセルの相対温度値を変える。シミュレーションの条件によって、変化の数値も違う。
- 相対温度値によって相対気圧値を変える。温度が高くなったら空気が移動や上昇しやすいので、温度値が高くなったら気圧値が低くなる。
- 相対気圧値によって各ボクセルの気流移動方向を計算する。同一高さでは空気が高い気圧値があるボクセルから低いボクセルに移行し、垂直方向では「熱い空気が上昇する」という方法で計算を行う。

地形生成と気象シミュレーションアルゴリズム実現のフローチャートは図 4 である。

2.4 ビジュアライゼーション

ビジュアライゼーションは、3つの構想を検討し、検討結果は表 1 のように示している。最後はパーティクルエフェクトと移動経路の2つの表示方法で行う。また、紹介パネルの機能も実装し、テキストで気象知識を詳しく紹介できるパネルが線で気象現象の位置を指し、観察しやすいためビルボード技術で常にユーザーに向く。

2.5 ハードウェア

Blender で装置をモデリングし、ELEGOO CURA にインポートしてスライスし、その後 3D プリントする。プリン

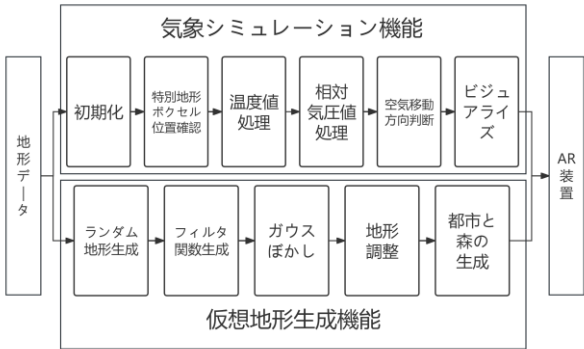


図 4 ブロックダイアグラム

表 1 ビジュアライズ方法の比較と採用

方法	メリット	デメリット	採用状況
矢印	単一のボックスのすべてのターゲット方向がはっきりと見える	空気の流れが見えにくい アニメーションがないため、注目を集めにくい	不採用
パーティクルエフェクト	全体的な空気の動きの傾向がわかる	空気の動きの細部が見えにくい、目が疲れる	採用
長い移動線路	教科書の例図のような、空気の流れの一貫した見方	データの処理が難しく、あまり重要でない空気の動きが無視される	採用

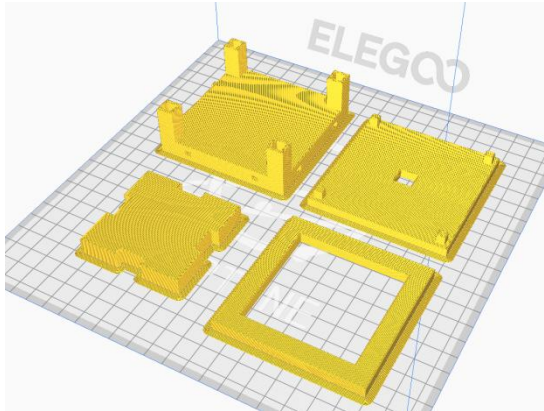


図 5 3D プリンタに導入するモデル

ト失敗を防ぐため、モデルの調整を行う。調整後の結果は図 5 である。プリントされたパーツを組み立て、センサなどを中に取り付ける。センサはすべて Arduino と繋げて、「各セルの地形を識別する」と「操作完了したことを判明する」二つの役割がある。インタラクティブ装置の構造は、ユーザのより良くして自然な体験のためデザインされる。

識別方法とセンサの選択について、主に 4 つの方法に対する検討と実験を行って、結果の整理と比較は表 2 である。より早くプロトタイプを作るため、プロジェクトでは「グレースケールセンサーで色を識別する」という方法を選択した。公開展示と実験によって、この方法は識別精度が低いという問題があるので、実装の難易度を配慮し、ユーザ操作をより直観的になるため、最後は抵抗器を使う方法に変えることを決めた。制作効率がより高いレーザーカッターで地形デバイスの部品を作って、ハンダ付けで磁気ポゴピンと抵抗器と組み合せて、ハードウェアのアップデートを推進する。

2.6 インターフェイス

地形デバイスを配列する操作で仮想地形を生成すること以外、ほかの細かい機能を制御するためインターフェイス機能の豊富が必要である。Mediapipe のジェスチャー認

識機能を導入することで、ユーザは手の動きだけで直観的に操作できるようになる。手の位置の移動が雲を移動させや特定のジェスチャーでシミュレーションの昼夜モードの切り替えを制御することなど、様々なインターフェイス機能の実装を検討する。

2.7 展示方法

仮想地形と気象シミュレーションの可視化結果は、Vuforia を通してユーザに表示される。カメラが装置周辺に設置されたマーカーを識別して、展示内容を装置の上に表示。細かいところもよく観察させるため、カメラが自由に移動できる形で設定された。プロジェクタを使って AR 画面を投影することで、複数のユーザによる多人数体験を実現する。

3. 体験の流れ

- ・ ユーザは、まず頭の中にある地形を想像し、その地形の中で気流がどのように動くかを大まかにイメージする。
- ・ ユーザはデバイスを配列して地形情報を入力し、仮想地形を作成する。
- ・ 仮想地形と、その地形での気象シミュレーションの結果を作成する。結果は AR デバイスを通してユーザに表示される。
- ・ ユーザはその結果を観察し、事前の推測を検証・確認する。
- ・ 地形情報を任意に変更し、シミュレーション結果の変化を観察することで、気象学の知識を深めることができる。

このような体験プロセスは、ユーザが「構想から実証へ」の過程をスムーズに進めると同時に、シミュレーション結果の直感的に視覚化されることを通じて知識を深めることを可能にする。また、デバイスを配置することで仮想地形が生成されるという操作方法は、ユーザにとって楽しく

表 2 地形デバイス識別方法の比較

方法	色センサー	リードスイッチ	抵抗器	フォトリフレクタ
紹介	デバイスに色をつけてセンサーで読み取る	磁石を使って磁気スイッチの開閉状態を判別	抵抗器を内装して読み取る分圧電圧値で識別	デバイス底面からセンサーまでの距離で識別
メリット	部品数が少ない、構造簡単	一番精度高い、環境から影響なし	部品数が少ない、識別精度高い	環境から影響なし
デメリット	影響されやすい、識別精度低い	部品と線とピン大量必要	ハンダ付け必要	デバイスの特別処理や再製造が必要



図 6 「いばらき × 立命館 Day」で展示現場の写真

魅力的な体験を提供することができる。

4. 実験

4.1 実験概要

このプロジェクトは、異なるアイデンティティを持つユーザーに、学会やオープンキャンパスでプロジェクトを体験してもらう（図 6 参照）。「興味向上」、「体験効果」、「フィードバック」という 3 つの視点からプロジェクトの有効性を検証する。実験方法は、ユーザ体験のプロセスを観察し、アンケートによるフィードバックも収集する。観察の焦点は、プロジェクトを体験する際のユーザの反応や操作、プロジェクトを体験することへの意欲、感情を観察することである。最後、観察結果をまとめ、10 枚のアンケートも回収した。

4.2 結果

ユーザの観察結果をまとめると、次のようなことがわかる：この装置のターゲットである子供と小中学生は、装置の操作方法に十分魅力を感じており、様々な地形を作る実験に時間を費やすことを厭わないが、大人のユーザは十分な興味を示さない。加えて、装置の体験もあまり魅力的でないと表現した。直感的な操作性に問題があるとの声も聞かれた。平均体験回数があまり多くないのは、飽きやすいなど装置自体の問題を反映している。

アンケートによると、この装置はユーザの気象現象に対する学習意欲を高めるのに大きな効果がある。また、体験効果という点では、全体的な効果は高かったが、機能が直感的でない、気象シミュレーション結果の正しさを疑いが

ちになるなどの問題があるというデータもある。知識を伝えることの機能に関しては、プロジェクトは知識紹介の機能をうまく実現していることがデータから示された。その他、地形デバイスの識別方法について、プロトタイプで利用した「グレースケールセンサーで色を識別する」という方法は、識別精度が低いという問題が判明され、検討を行って抵抗器を使う方法に変える。また、地形デバイスをユーザに代表している地形を理解しやすいため、外見上のアップデートも行う。

5. むすび～今後の計画

本システムは、簡単な操作で仮想地形を作成することができ、スケールの大きな理解しにくい気象現象を直感的に観察・学習することができる。

本システムの研究はまだ続いており、将来的にはジェスチャ認識などの操作方法を導入することで、インタラクティブな体験や学習できる気象現象を充実させるとともに、シミュレーション結果をより全面的で正確なものにするための継続的な改善を行いたいと考えている。

参考文献

- [1] 平成 15 年度小中学校教育課程実施状況調査”, https://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/index.htm, (参照 2025-06-08)
- [2] 筒井和男ら. 中山間地域の小学校での土砂災害防災リテラシー向上のための AR 技術を活用した防災教育の取り組み. 地域安全学会論文集, vol.45, pp.215-223, 2024
- [3] 五十嵐健夫ら. 地形学習における手書き 3 次元モデリングの利用. 図学研究, vol.38, pp.103-106, 2004
- [4] “ Procedural-Landmass-Generation ” . <https://github.com/SebLague/Procedural-Landmass-Generation>, (参照 2025-06-08)
- [5] Ken Perlin. 2002. Improving noise. In Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '02). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp.681–682.
- [6] コンピュータグラフィックス「改訂新版」. 画像情報教育振興協会, p.273, 2016
- [7] コンピュータグラフィックス「改訂新版」. 画像情報教育振興協会, p.101, 2016