

ブロックとコネクタを活用した 探索的なVRコンテンツ操作インタフェースに関する研究

市川 将太郎^{1,a)} 高嶋 和毅² 石川 美笛^{1,†1} 北村 喜文²

受付日 2019年1月31日, 採録日 2019年9月11日

概要: 本研究では, 没入型 VR 内におけるコンテンツとのインタラクションをより楽しく探索的なものにする「ブロック」と「コネクタ」を活用した新たなコンテンツ操作インタフェースを提案する. ユーザは, ブロック遊びのようにブロックで表現されたコンテンツを把持し, コネクタに接続したり分離したりすることで, 様々な入出力を探索することができる. 我々は, その効果や可能性を示すために, まず, 初期の検討として, 動物やその生息地の 3D モデルを選択して観察することができる ViBlock 動物図鑑のアプリケーションを構築した. また, それを元にして, より実践的なアプリケーションとして, ブロックを「世界樹コネクタ」に接続してバーチャルな世界を構築していく VR Safari Park を開発した. この 2 つのアプリケーションの設計, 実装および評価実験を通してブロックとコネクタによるインタフェースの可能性や効果を議論した. その結果, 提案インタフェースの新たな入力体系がユーザに受け入れられたことや, 十分に楽しい体験を提供できたこと, さらに, 教育分野などへの発展性を確認することができた.

キーワード: 3次元ユーザインタフェース, インタラクションデザイン, エデュテインメント

Explorative Interaction with VR Content Using Blocks and Connector

SHOTARO ICHIKAWA^{1,a)} KAZUKI TAKASHIMA² MITEKI ISHIKAWA^{1,†1} YOSHIFUMI KITAMURA²

Received: January 31, 2019, Accepted: September 11, 2019

Abstract: We propose a novel interface that enables HMD users to exploratory and enjoyably interact with VR content using “blocks” and “connector” interaction components. As when playing with toy blocks, users are able to explore various content by repeatedly attaching/detaching blocks to/from the connector. We demonstrate its benefits and power by designing and implementing two proof-of-concept applications. First application is ViBlock animal picture book, designed with simple block and connector mechanics, allowing users to select and observe 3D models of animals and their habitats. Second is VR Safari Park, an advanced world building tool allowing users to create and manipulate a virtual safari park simulation with a specially designed “World Tree Connector”. We also obtain user feedback in preliminary studies showing that our interface would sufficiently provide users enjoyable and exploratory content interactions and a clear potential for future edutainment application.

Keywords: 3D user interface, interaction design, edutainment

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University,
Sendai, Miyagi 980-8579, Japan

² 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku
University, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

^{†1} 現在, NTT コミュニケーションズ
Presently with NTT Communications

^{a)} icd-office@ml.riec.tohoku.ac.jp

1. はじめに

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) による没入型バーチャルリアリティ (VR) はエンタテインメントやデザインの分野など様々な分野で利用されつつある. そこでのコンテンツを操作するには, 比較的安定したレイキャスティングによるカーソルがよく利用されてきた. しかし, バー

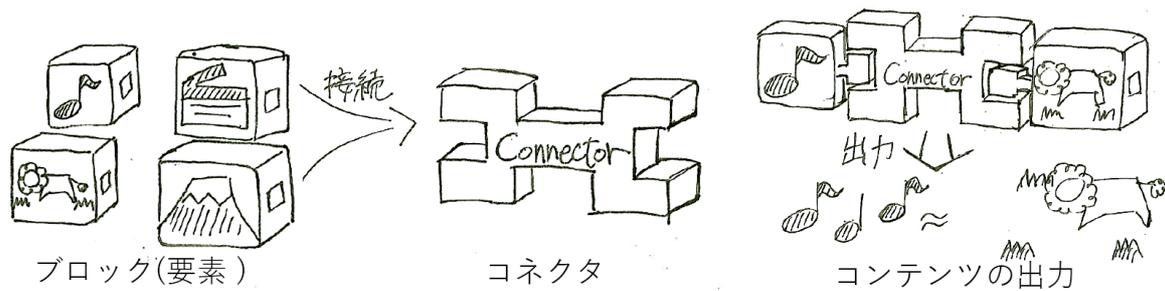


図 1 提案インタフェースの概要
Fig. 1 Proposed interface overview.

チャル空間内での体験をより魅力的なものにするインタラクションも強く求められている。これは、エンタテインメントユースに限らず、個々の操作が楽しさや魅力を持つことは、ユーザがバーチャル空間の中に没入し、コンテンツとのインタラクションを継続する動機にもなり、かつユーザの探索や創作活動の質の向上にもつながると考えられるからである。

これまでもバーチャル空間内のコンテンツ操作を直感的で魅力的なものにするため、人の身体的なジェスチャを用いた 3D ユーザインタフェースの研究がなされてきた。これらは通常、正確さと効率を重視して設計されることが多く、依然として既存の WIMP の設計方針を踏襲したものが主流である。しかし、現在および今後の VR の位置づけや発展性を考えたとき、効率性や正確性だけではなく、非効率で不便な操作であっても、ユーザの能動的で継続的な操作や工夫を促進することができるインタフェースを検討することも重要だと考える。そのようなインタフェースでは、操作や体験に時間は要するが、工夫や探索行動が発生するため、結果として、対象に対する新たな理解や発見につながる可能性が高いことも指摘されている [6], [11]。

そこで本研究では、物理的な制約がなく、アニメーションなどの表現自由度が高いバーチャル空間の性質を活かした形で、遊びの延長のように、個々または一連のコンテンツ操作を楽しむことができる新たなインタラクション手法について検討する。これには、様々な方法が考えられる中で、知育的で基本的な遊びであるブロック遊びに着想を得て、バーチャル空間内においてバーチャルなブロックどうしの重ね合わせによる接続を活用することを考える。なお、バーチャル空間内のコンテンツの操作は多く存在するが、本研究では、「コンテンツを選択してそれを簡単な処理を施した後にバーチャル空間内に出力する（たとえば、コンテンツの色を変えて配置するなど）」といった、単純ながらも繰り返しの機会がきわめて多いものを題材に取り上げる。そのため、積み木やブロック遊びの特徴の中でも、形状構築といった複雑なプロセスではなく、ブロックを把持したり、動かしたり、接続・分離したり、といった繰り返しの探索を支える基礎的な動きに着目する。

これまでもブロック遊びのメタファを取り入れたインタラクションに関する研究は多くなされているが、それらの多くは、現実空間で物理ブロックを組み合わせ、ディスプレイなどにバーチャル空間を表示し、両者のインタラクションを実現している（たとえば、文献 [10], [13], [18]）。また、ブロックの接続や組合せを利用した電子工作体験やプログラミング体験が可能なツールなども提案されており、エデュテイメントシステムとしての利用も進んでいる。本研究においても、これらの知見を踏襲し、没入型 VR 空間において、ユーザがバーチャルなブロックを把持・移動・接続することでコンテンツの操作やインタラクションを楽しめるインタフェースを提案する。このインタフェースでは、デジタルコンテンツをブロックとして表現しており、ユーザはそれらのブロックをコネクタと呼ぶ部品に付け外しする統一的操作により、探索的なインタラクションを促す。

図 1 に本提案インタフェースの概念図を示す。図 1 左のように、コンテンツはブロックとして表現され、1つのブロックに、3D モデルやその音声データなどのコンテンツが内包されている。そして、そのブロック内のコンテンツを出力させる（たとえば、3D モデルを出力するため）に、ブロックを複数個接続可能なコネクタという一種の機能ブロックを用いる。図 1 中に示すように、ブロックがこのコネクタに接続されると、コネクタに事前に設計された処理が施され、その結果がバーチャル空間に出力される。ブロックは要素であり、コネクタはその要素とバーチャル空間のワークスペースをつなぐものに相当する。ユーザは、コネクタ付近で複数のブロックの接続や組合せの効果を簡単に試すことができる。なお、これらのブロックとコネクタの扱うコンテンツや機能はともにアプリケーションによって様々に設定することができる。

本研究では、ブロックとコネクタを用いた提案インタフェースにより、どのようなインタラクションが提供できるか、またどのように楽しい体験を提供しうるかを 2つのアプリケーションの設計と実装を通して示してゆく。1つ目の実装例では、初期検討として、動物の 3D モデルや鳴き声などの複数のデジタルコンテンツを内包するブロッ

クを、コネクタに接続することで出力するコンテンツを探索的に選択することができる ViBlock 動物図鑑である。これを通して、提案インタフェースの基本となるブロックを用いた操作や考え方がユーザに受け入れられるかを中心に検証する。また、この結果を基に、提案インタフェースをより実践的に検証するために、動物や地形の 3D モデルをブロックとして表現し、それを多機能コネクタに接続していくことでバーチャルサファリパークを構築できる VR Safari Park を実装し、検証する。このような 2 つの実装例とそれぞれの検証を通して、提案インタフェースが没入型 VR 内の体験へ与える効果を議論する。なお、本稿で検証する「楽しさ」は遊びの中で生まれるものであるため、同じく遊びを評価するゲームの評価軸である Game Flow [26] の主要項目をもって評価する [27]。

2. 関連研究

ブロック・積み木は老若男女問わず幅広く親しまれている知育玩具であり、遊びの中で平面や立体の概念を獲得したり、創造性や想像力などの能力の向上を助ける [3]。HCI や VR の分野でも、この積み木やブロック遊びのメタファを取り入れた研究例は多い。以下ではそれらの代表例を紹介する。

2.1 ブロックの考えに基づくインタフェース

Active Cube [13] では、1 つのブロックの中にマイコンを組み込んでおり、電子的にブロック間の接続状況を認識できるため、バーチャル空間内にその構築形状を再現することができる。このインタフェースを用いた子ども向けエデュテイメントシステム TSU.MI.KI [10] では、三角柱や直方体などの 3 次元形状モデルを試しながらバーチャル空間で遊戯体験ができる。Sifteo Cubes [18] では、ブロックの一面がカラーディスプレイとなっており、それぞれのブロック内のモーションセンサによってブロックどうしの近接を認識して、前面にあるディスプレイによってゲームやインタラクションを行うことができる。これらの研究では、手元にある物理的なブロックの接続形状に応じて、環境内の物体と様々なインタラクションが可能である。

複数のブロックの組合せを試しながらバーチャル空間とインタラクションを行っている例もある。TSUMIKI CASTLE [20] では、ユーザがセンサモジュール内でブロックを積み重ねていくと、その積まれたブロックの形状や数をもとに、バーチャル空間に自分のオリジナルの城を築くことができる。The Digital Dream Lab [21] は、キャラクター、アニメーションなどの役割を持ったブロックを、ジグソーパズルのように組み合わせることにより、キャラクターを登場させ、特定のアニメーションの発動を繰り返し楽しめるシステムである。

また、機能を持ったブロックをつなぎ合わせることで

ユーザ所望の新たな機能のプロトタイピングを行うツールもある。Little Bits [14] では、小さな電子回路基板で構成される機能を持った Bit をブロックのようにつなげることで電子工作の体験ができる。LEGO MindStorms [16] では、モータを備えたプログラミングが組み込めるブロックやセンサなどを組み合わせることができ、プログラミング教育などにも用いられる。Mesh [24] は、無線接続可能なブロックをプログラミングアプリ上で制御することで、配線やブロックの接続などを行うことなく、各ブロックのセンサやライトなどの機能を組み合わせた電子工作体験が可能である。このように、ブロックを用いて、それらの接続や組合せを繰り返し試すことで楽しさや探索的な体験を引き出す事例が多数報告されている。ただし、これらは物理ブロックを用いたものであり、直感性は高いものの表現性や拡張性については限界がある。

ブロックを接続するメタファは計算機上のエデュテイメントシステムにも活用されている。Scratch [17] や Blockly Games [5] などのビジュアルプログラミング言語では、ディスプレイ上に表示された変数や関数の役割を持つブロックをジグソーパズルのようにつなぎあわせて機能を組み立てていく。また、オブジェクト指向プログラミングの基礎の学習を目的とした TanProStory [22] や、変数や関数をバーチャルなブロックとして表現してバーチャル空間内でビジュアルプログラミングが可能な Cubely [29] などの例もある。Cubely は没入型 VR 環境内におけるキャラクターの動きを制御するプログラミングツールであり、本研究で述べる図鑑や世界全体を構築するような機能はない。

以上のように、実世界でも計算機上のインタフェースにおいても、ブロックの概念を導入することで、ユーザは遊ぶ感覚でコンテンツに触れ、探索的な行動につなげられることが示されている。また、これまでの事例からすると、何かを理解したり創ったりする教育向けコンテンツとの相性の良さも示唆されている。

2.2 没入型 VR とブロック

続いて、HMD を装着する没入型 VR において、積み木やブロックのメタファを取り入れたコンテンツとのインタラクションを実現する研究例を紹介する。Leap Motion が提供する “Blocks” [15] では HMD 前面に取り付けられた赤外線センサを用いて手の形状とジェスチャを認識し、バーチャルなブロックを自由に操作・変形したり積み上げたりすることができる。また、バーチャルなブロックどうしの接続による形状構築のためのアルゴリズムも積極的に開発されてきた [12]。

前節でも述べた Cubely [29] では、没入型 VR 環境内で、変数や条件式を表すプリミティブな形状のブロックをバーチャル空間内で接続することで、3D のキャラクターの動作を設定するプログラミング体験が可能である。しかし、先

にも述べたように世界構築の機能は持たず、あくまでキャラクターの動作制御に特化したものであり、本研究とは異なる。Minecraft [19] は、岩やレンガなどのテクスチャの立方体のブロックを並べたり積み上げたりすることでバーチャル空間内にユーザ所望の世界を構築できるゲームである。ブロックは、視線の先の座標に配置することができ、モデルの構築だけではなく、入力装置や出力装置などの関数を持つブロックを利用し、論理回路やアニメーションを設定することも可能である。世界構築という観点では本研究と共通点はあるが、これは直接的に要素を配置することで世界を構築するアプローチであるのに対して、本研究では、コネクタを利用して手元で抽象的に世界の設計と構築を試行錯誤するアプローチである。

また、TactileVR [23] では、HMD を通して見るバーチャル空間内の映像に、実ブロックを使った操作を組み合わせ、双眼鏡を覗き込んだり電気回路の組み立て体験ができたりするエデュテイメントシステムを提案している。

このようにブロックのメタファを取り入れた体験は、没入型 VR にも幅広く導入されている一方で、上記の大半は、ブロックを置いたり積み上げたりする形状構築やインタラクションが可能なツールであったり、変数や関数を表すプリミティブな形状のブロックを組み合わせることでプログラミングを行うものであり、本研究で扱うような用途や目的、たとえば「動物の情報を確認する」、「世界を構築する」の機能は持たない。また、探索的な行動を生み出すようなインタフェースデザインの設計やその効果についても十分に検証されていない。

3. 提案手法

本章では、没入型 VR においてユーザのコンテンツ操作をより楽しく探索的なものにする「ブロック」と「コネクタ」を活用したインタフェースについて報告する。

3.1 ブロック

バーチャル空間内で操作対象となるデジタルコンテンツはバーチャルなブロックとして表現される。ここでの「ブロック」は LEGO のように他のブロックとの接続部があり、ユーザはそれらを接続することができる。図 2 に示すとおり、ブロックのそれぞれの面には、ブロックが内包す



図 2 ブロック
Fig. 2 Block.

るデジタルコンテンツの象徴的なイメージ図が貼り付けられており、ユーザがそのコンテンツの内容を認識しやすくなっている。また、ブロックの色によって内包コンテンツの種類を表現することも可能である。

ユーザはブロックを、後述するコネクタや他のブロックとの接続により操作するが、この際にブロックの側面にある凸型の部品がコネクタなどに接続可能な距離に近づくと図 2 右のように突出することで、接続可能であることを表示する。一方で、つねにブロックの凸部を表示する運用もありうるが、本研究では、ある程度同じ作業が繰り返される想定であるため、ブロックを把持したタイミングとコネクタへ接続可能な距離に近づいたタイミングでのみ凸部が提示されることで、滑らかに接続を促す役割を果たすと考えこの設計とした。

これらのブロックの選択・操作方法としてジェスチャによる操作と VR コントローラによる操作の 2 種類を実装した。詳細は後述するが、いずれもバーチャルなブロックをユーザが手で把持して、腕の動きや体の向きを変えることでそれらを回転・移動することができる。

また、ユーザが多くのブロックの中から所望のブロックを選択する際には、ユーザがブロックを一覧できる必要がある。提案インタフェースでは、図 4 に示すように、多数のブロックをユーザの周囲に並べて提示する。このブロック群の配置場所をウォール (Wall) と呼ぶ。ユーザが現実空間内で移動することなく手を伸ばすだけで、素早くブロック群にアクセスできるように、ウォールはユーザを中心とした円弧上に広がるものとする。すべてのブロックのイメージ図はユーザに向き、ブロックは拡大縮小を繰り返しながらウォール内をゆっくりと移動し、多数のコンテンツを一覧提示する。

ユーザがブロックを操作する際の一連の流れは、まず、センサにより計測された手指、またはグローブ型のコントローラを用いて (いずれもバーチャル空間において可視化される)、ウォール内の 1 つのブロックを把持して手前に引き出す。これにより、ユーザの手元に把持したブロックのインスタンスが生成され、これが移動や操作の対象となる。このようにインスタンスを生成するのは、同一ブロックのコンテンツを複数同時に処理可能にするためである。ユーザはこのブロックを次節で述べるコネクタに接続することで、そのブロックに内包されたデジタルコンテンツをバーチャル空間に処理を施して出力できる。なお、ウォールから引き出されたブロックは、ユーザが手を放してから一定時間はその空間上に残るが、雑然となることを防ぐために、一定時間経過後に操作対象外として消滅する。

3.2 コネクタ

コネクタは、前節で述べたブロックを接続することでコネクタに事前に設定された処理をブロックに施し、その結

果を出力する役割を持つ。コネクタの形状やサイズは使用する場面に応じてインタフェースの設計者が柔軟に変更することができる。ブロックとの接合部は凹型とし、ユーザがブロックをコネクタに付けやすくなっている。コネクタに割り当てられる機能や処理の内容も使用する状況に応じて変更可能であり、それらをユーザが認識しやすいように、コネクタの色、外見、ラベルなども変えることができる。

ユーザがブロックをコネクタに接続するには、把持したブロックをコネクタ付近に移動させ、ある閾値より近づくと、前述のとおり、ブロック側面から凸部が突出する。この状態でユーザがブロックを手放すとカチッという音によるフィードバックとともに自動的にコネクタにそのブロックが接続され、コネクタの機能が発動する。図 1 右や図 4 は、ブロックがコネクタに接続された様子を示している。また、ユーザがブロックをコネクタから分離させると発動させた機能をオフにすることができる。

このようにコネクタが、入力された要素（ブロック）を適切に処理して出力する役割を持っており、ユーザは所望のブロックをコネクタに接続するだけの入力でコンテンツを生成したり、操作したり、またはそれらの組み合わせを試したりすることができる。また主なワークスペースはウォールとコネクタ周囲となり、ユーザのリーチ内のコンパクトなワークスペースで効率的に探索行動を楽しむことができる。さらに、単純な接続のみですべての処理が進むため、ユーザにとって理解しやすい点も本提案インタフェースの特徴である。

本研究では、以下に示すように、提案インタフェースによって生み出す体験と楽しさを 2 つのアプリケーションによってデモンストレーションする。

4. ViBlock 動物図鑑

ブロックとコネクタを用いたインタフェースの基本的な洞察を得るために単純なアプリケーションを実装した。本研究で対象とする、「コンテンツを選択して単純な処理をして出力する」操作が繰り返し行われる探索の例として、動物やその生息地の 3D モデルなどのデジタルコンテンツを選択して観察することができる ViBlock 動物図鑑アプリケーションを実装した。ViBlock 動物図鑑では、コンテンツを内包したブロックをコネクタに接続することで、動物の情報などをバーチャル空間内に出力していく。動物に興味関心を持ち、次々と異なる動物を調べていくような探索行動を狙ったアプリケーションである。その設計には様々な可能性があるが、今回は、初期の検討ということ、ユーザが両手を使い、かつ初めてでもコネクタの使い方がすぐに分かる程度のコンテンツ数や情報量な設計として、4 つのコネクタの数とブロックに図鑑にかかわる 4 種類のコンテンツを封入する設計とした。ブロックとコネクタがうまく連携する例として見ていただきたい。



図 3 コネクタ (ViBlock 動物図鑑の例)
Fig. 3 Connector (in ViBlock animal picture book).



図 4 ViBlock 動物図鑑
Fig. 4 ViBlock animal picture book.

4.1 設計と実装

ViBlock 動物図鑑におけるブロックとコネクタの設計について説明する。1 つのブロックには動物の 3D モデル、動物の生息地の 3D モデル、動物の鳴き声、動物の名前および分類名のテキストの 4 種類のコンテンツが内包されている。コネクタはブロックが接続された際に、これら 4 種類のコンテンツのうち事前に設定された 1 種を出力する。コネクタの形状は図 3 のように、2 本の棒状の部品と 4 つの凹型の端によって構成され、それぞれの端に 1 つずつブロックを接続することができる。なお、ブロックを接続した際に各コネクタが出力するコンテンツの概要は各端の横に示された文字 (Animal, Habitat, Sound, Name) に対応している。

ブロックがコネクタに接続されたときには接続先に応じたコンテンツが、音と視覚的なエフェクトとともに出力される。たとえばライオンのブロックを Animal のコネクタに接続するとライオンの 3D モデルが出現し、Habitat のコネクタに接続するとライオンの生息地の 3D モデルが出現する。ここで、以後ブロックをコネクタに接続した際にコンテンツが出力される場所をグラウンドと呼ぶ。一度出力された動物はあらかじめ設定されたアニメーションに従いグラウンド内を周回する。この動物の 3D モデルに体験者が触れると立ち止まって鳴き声を発するアニメーションが再生され簡単なインタラクションを楽しめる。

コネクタの 4 つの端にはそれぞれ 1 つずつブロックを接続することで最大 4 つのブロックの組み合わせを試すことがで

きる。たとえば4つの端に同一のブロックを接続すると1種類の動物に関する4種類コンテンツ、すなわち、動物のモデル、鳴き声、生息地のモデルおよび説明文がすべて同時に出力され、ユーザはその動物の情報を詳細に確認することができる。一方で、図4で示しているように、ライオンの3Dモデル、ホッキョクグマの生息地の3Dモデル、ゾウの説明文のようにグラウンド上に複数の異なるデジタルコンテンツを出現させることもできる。これ自体は不自然な例であるが、ユーザが現実世界の物理法則にとらわれることなくバーチャル空間を設計している状態でもある(次章に関連する)。前章で述べたとおり、ブロックはユーザの周囲のウォールに配置されており、ユーザは新たなコンテンツに興味関心を持てば、素早く次のブロックを試すことができる。このように、コネクタの端の数には限りがあり、接続の繰り返しや試行錯誤を促す工夫を設けている。アプリケーション内のユーザインタラクションや挙動の詳細に関しては動画^{*1}も参照されたい。

実装の詳細に関して説明する。アプリケーションの実装はゲームエンジンUnity上で行った。HMDとしてOculus Rift CV1を用いて、その前面にユーザがブロックを把持するジェスチャ入力を取得するためのLeap Motionを取り付けた。ユーザはこのLeap Motionの計測範囲内で両手の握るジェスチャをしてブロックを把持したり動かしたりすることができる。システムは、Windows 10 Computer (CPU i7-6700K, Memory 32 GB, Graphic GeForce GTX 980 Ti) で実装し稼働させた。なお、Leap MotionのSDKはV3 Orion Betaを使用した。

4.2 評価・ユーザフィードバック

ブロックとコネクタを活用したインタフェースの操作性や基本的な効果を(楽しめたかなど)評価するために、ViBlock動物図鑑に対して簡単なユーザスタディを実施した。ユーザスタディはSIGGRAPH Asia 2016 MacaoのVR Showcaseの展示[9]の一環として実施した。VR Showcaseブースでは、VRに関するインタラクションやアート研究が展示発表される場であり、研究室内などと比べて条件を統制することが難しいが、VRやHMDに精通している参加者から貴重な意見が得られる場であることから評価実験を実施した。

4.2.1 方法

デモンストレーション時の流れを説明する。体験者は椅子に座り、HMDを装着する。その後バーチャル空間内に表示される案内とオペレータからの指示に従いチュートリアルを受ける。チュートリアルでは、図や説明文をバーチャル空間に表示し、ブロックやウォールといった構成要素の操作を実際に操作し、理解に応じてユーザ自身が進め

ていく。ブロックを掴んで移動させる動作やウォールからブロックを取り出す動作を確認し、チュートリアルが終わった段階ですべての操作を理解できているものとする。

チュートリアル後ViBlock動物図鑑の体験が始まる。体験時間に関しては特に設けず、体験者が十分と判断しオペレータに声をかけた時刻を体験終了時刻とし、アンケート画面に進む。展示中に行った検証であることから、他手法との比較は困難であったため、アンケートによる主観的評価を行った。ブロックとコネクタを用いた入力操作や、ViBlock動物図鑑内での探索的行動の「楽しさ」を評価したいが、「楽しさ」を直接評価することは難しい。そこでGame Flow理論[26]を改良したアンケートにより評価を取得した。Game Flow理論はRTS (Real-time Strategy) ゲームの評価を行うためのモデルとして提唱され、体験者の楽しさの考察にも用いられる。本来のアンケートは8項目あるが、ViBlock動物図鑑の体験は、純粋なクリアを楽しむゲームではないため、Game Flow理論におけるChallengeとPlayer Skillの項目を除いた6項目のみを用いた。なお、ソーシャルインタラクションの項目に関しては、将来的な複数人利用を想定し、「提案インタフェースを他人と一緒に使えるようになりたいか」という質問に置きかえた。アンケートはこれらの6項目を5段階のリッカート尺度で回答を求めた。

4.2.2 結果、考察

ViBlock動物図鑑累計体験者およそ100名のうち、並んでいる人がいないときに限り、体験後に評価アンケートを実施した。有効回答者は26人であり、対象者全員が提案インタフェースを初めて使用する人であった。ほとんどの体験者がHMDの使用経験を有しており、ブロック遊びの経験も理解もあった。参加者の平均デモ体験時間は3分24秒であった。また、体験者がウォールからブロックを取り出す回数は平均6回、ブロックをコネクタに接続する回数は平均11回であり、コネクタへの付け外しを試す操作が多く発生したことを確認した。アンケート回答者以外も含めて、体験者は1つのブロックを複数種類のコネクタへ接続して出力されるコンテンツの違いを試したり、コネクタの複数の端にブロックを取り付けて、組合せを試したりしていた。

次にアンケートの結果について述べる。Game Flowではアンケート項目で設定した「楽しさ」を構成する8項目の平均スコアが高ければ、そのゲームは楽しいという評価がされるため、本実験では、測定した6項目の評定値が高いかどうかに着目する。6項目それぞれの平均値を表1に示す。6項目すべての平均スコアは4.1と全体的に高評価であり、中央値の3より1ポイント以上上回った。これは、ViBlock動物図鑑はユーザに十分に楽しい体験を提供できていたことを示唆するものである。これはブロックをコネクタに取り付ける操作が短時間で理解可能で(表1中、インタラクションの理解度)、ブロックの付け外しを繰り返

^{*1} 情報学広場から付録データ「ViBlock: Block-shaped Content Manipulation in VR」を参照。

表 1 アンケート結果の記述統計量
Table 1 Results of questionnaires.

Game Flow 項目	平均	標準偏差
Q1 集中度	4.12	0.77
Q2 操作性への満足度	3.69	0.79
Q3 インタラクションへの理解度	4.31	0.97
Q4 フィードバックの満足度	3.92	0.93
Q5 没入度	4.08	0.8
Q6 ソーシャルインタラクション	4.58	0.64

して操作に集中したり世界に没入できたことが主な要因 (表 1 中, 集中度および没入度) と考えられる。

以上の結果からは, 本研究の方向性は認められたものの, 評価結果のうち, スコアが 4 ポイントを下回った操作性の満足度とフィードバックに関して考察する。操作性に関しては, 体験中にブロック掴む操作に苦勞していた人が見受けられた。体験時間が短かったこともあり, 掴むジェスチャへの慣れやセンサのジェスチャ認識の精度が十分でなかったことが原因としてあげられる。また, 操作性とフィードバックへの満足度の評価に影響を及ぼす要因として視覚的フィードバックの不十分さと触覚フィードバックの欠如が考えられる。これらは, 次章で述べる VR Safari Park で改良する (詳細は後述する)。

本評価実験では回答者が体験者全体の 1/4 であり, ここで得られた楽しさがどの程度継続するかなどについては不明である。しかし, デモ会場というオープンな条件において, 提案する図鑑アプリケーションがユーザの集中, 没入, 理解をうまく引き出したことは重要である。特に今回の実験参加者や方法からすると HMD を珍しがった反応はほとんど含まれていないと考えられる。次章では, これを進展させ, より多くのコンテンツを組み合わせて世界を作るアプリケーションに関して述べる。

5. VR Safari Park

ViBlock 動物図鑑の経験を基に, より多くのデジタルコンテンツを使用し, より探索的な行動が意味を持つ場面として世界構築を題材とする。ここでの世界構築とは, 3D モデルをバーチャル世界内に配置していき, 自分が望む景観を生成することである。つまり, ViBlock 動物図鑑では動物の情報確認を意図するツールであったのに対して, 本検討では, 世界 (サファリパーク) を創意工夫して造るためのツールを目標とする。

世界構築の方法として自動生成やスケッチなど様々にあるが, ここでは, ユーザがメニューなどから 3D モデルを選択し, それらをバーチャル空間内に配置して景観を生成していく基本的なプロセスを考える。これまでもバーチャル空間内で世界構築ができるツールやインタフェースは提案されているが (たとえば, 文献 [4], [25], [28]), メニューやレイによる操作で 3D モデルを 1 つ 1 つバーチャ

ル空間内の所望の場所に配置するものが多い。このような方法では 3D モデルの組合せや位置を試す度に詳細な調節が必要であり, 細かな景観を作りこむことにも適している一方で, 広大な景観を作成する際に多くの操作量を必要とする。提案インタフェースを利用した世界構築体験は, 従来の世界構築の手順とは異なり, 3D モデルを配置する機能を持ったコネクタを利用し, ブロックをコネクタに接続することで世界を構成する要素を集約的に操作できる。ユーザは, コネクタとブロックの接続関係だけに注意を払い, 所望の世界の大局的なコンセプトを探索的に設計することができる。

ここでは, VR Safari Park [7], [8] という世界構築アプリケーションを実装した。動物や山, 木などの 3D モデルをブロックとして表現し, それらを, “世界樹コネクタ” に接続することでユーザ所望のサファリパークを作成し, 動物の動きを観察したり簡単なインタラクションを楽しむことができる。VR Safari Park 最大の特徴は, 世界構築に適した形状や機能を設定した「世界樹コネクタ」である。以下では, VR Safari Park におけるブロックと世界樹コネクタを活用した世界構築の手法と, それを用いた評価実験について報告する。

5.1 設計・実装

前章で述べた ViBlock 動物図鑑とコンテンツや基本的なアプリケーションの方向性は同じであるが, ViBlock 動物図鑑で採用していた動物の鳴き声は, 動物が出現する際やユーザが動物に触れた際に再生される仕様とした。説明文に関しては, 認知度の高い動物を扱っているために, 説明文を出すことで不要な間を作ってしまう, 探索的な行動が鈍くなる可能性があったために今回は省いた。以下では, 世界構築体験に合わせて設計したブロックとコネクタについて説明する。

5.1.1 世界要素を内包するブロック

VR Safari Park のブロックには火山や果樹などの 3D モデルや, アニメーション付きの動物の 3D モデルなどが内包されている (図 5 (b))。ブロックは ViBlock 動物図鑑と同様, 内包するコンテンツの象徴的な写真が貼り付けられ, 接続部には凸型の部品が取り付けられている。また, ブロックはウォールにて一覧できるように浮遊している (図 5 (a))。VR Safari Park では, 取り扱う 3D モデルを 4 種類 (地形, 地上動物, 飛行動物, 天候) にカテゴリ化しており, ブロックの色によってカテゴリを表している。ViBlock 動物図鑑での評価実験の結果を基に, ユーザの入力方法はジェスチャ入力に加えて Oculus Touch を用いた入力にも対応した。Oculus Touch 使用時は, 人差し指トリガーボタンを押下することでブロックを把持する。ブロックを掴んだ際には内蔵バイブレーションで触覚フィードバックを提示する。

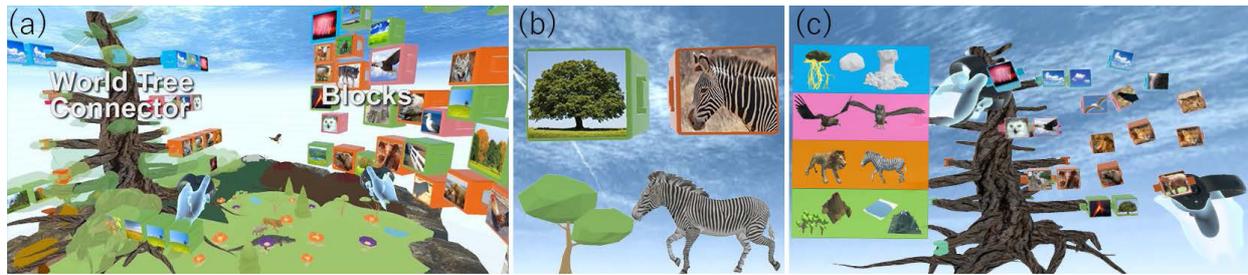


図 5 (a) VR Safari Park の構成要素, (b) ブロックには 3D モデルが内包される, (c) ブロックを世界樹コネクタへ接続

Fig. 5 (a) World Tree Connector and Blocks, (b) Blocks represent corresponding 3D models, (c) To design a world, attaching blocks to corresponding branch of tree connector.

5.1.2 世界樹コネクタ

ViBlock 動物図鑑で採用したコネクタの基本的な考え方は踏襲しながら、世界構築に向けて、複数のブロックを集約的に、そして階層的に管理することができる「世界樹」のメタファを応用した世界樹コネクタを新たに提案する。「木」は古くから世界の構造やその特徴を象徴するものとして頻繁に用いられてきた。特に、北欧神話の世界樹やユグドラシルなどが有名である。世界の表し方も様々があるが、多くは、木の要素である根、幹、枝、葉でそれぞれ世界の要素を表している。それに加えて木は、樹形図や木構造に代表されるように階層的な情報や親子関係を表す可視化手法としても用いられてきた。

これらの2つの木の考え方を結合し、本研究における世界樹コネクタは図 5(a) に示すような1本の大木を模し、枝の先端部に世界の要素となるブロックを接続できるものとした。コネクタの主な役割は与えられたブロックの3Dモデルをグラウンド上に出力することであり、ViBlock 動物図鑑で設定したものと同等である。

ViBlock 動物図鑑のコネクタとの大きな違いは、世界樹の枝の高さを世界の階層に見立て、4層（地形、地上動物、飛行動物、天候）に分けた点である。各ブロック本体と世界樹コネクタの枝の先端部の色はこの階層によって色分けされ、コネクタの色と同色のブロックのみが接続可能である。なお、誤った色のブロックの接続を試みるとブロックが弾かれるアニメーションが再生される。このような階層を意識したブロックの接続を導入することで、ユーザは世界の階層構造を意識し、集約的に、そして要素間の量・バランスを考慮したうえで、どのような世界を構築するかを模索することができる。また、構築する世界によっては多数の同一階層のブロック（たとえばたくさんの地上動物を配置）を扱う場面も考えられる。VR Safari Park では世界樹コネクタに接続されているブロックにも、木の枝が伸びていくようにブロックを複数接続できる設計としている（図 5(c)）。なお、HMD のトラッキングエリアの制約により1つの枝につき約20個程度のブロックが接続可能とし



図 6 VR Safari Park のフロー

Fig. 6 Flow of world building in VR Safari Park.

た、連続して接続されたブロックもコネクタに接続されたと見なし、そのブロックの3Dモデルも出力する。これにより、木は様々な形状をとることになる。この木の成長や衰退の様子は、そのまま、グラウンド上の世界の要素の拡がりや縮小の様子を表すものとなる。

実際に世界構築を行う際には、ユーザは、ウォールからブロックを取り出し、世界樹コネクタの枝のいずれかにそれを接続することで3Dモデルをグラウンドに配置することができる（図 6）。ここで世界樹コネクタのブロックを接続する部分は4方向に向かって伸びている（図 5(a)）。今回の実装ではグラウンドを4象限に分割し、世界樹コネクタの枝が伸びている方向の象限に3Dモデルが出力される実装とした。さらに、指定の象限内に3Dモデルが出現する位置はランダム性を持ち適度に分散させる。これらの設計により、ユーザは広いグラウンド上を移動しながら3Dモデルの位置を調整して世界を構築するのではなく、世界樹に接続されるブロックの追加・削除を繰り返し試しながら素早く景観を生成することができる。なお、必要であれば、グラウンドに出力後の3Dモデルの位置を適宜把持して微調整することもできる。

5.1.3 世界構築とインタラクション

3D モデルがグラウンドに自動配置された後は、グラウンド全体で簡単なシミュレーションが走査する。ViBlock 動物図鑑では、出力される動物がユーザの周りを歩くアニメーションであったが、VR Safari Park では、動物の3Dモデルは地形の起伏や障害物を認知し、丘を登ったり障害物を避けながら歩行するようなアニメーションが再生される。また、動物どうしの間インタラクションとして肉食動物が草食動物に襲い掛かるようなアルゴリズムも取り込んだ。これらのシミュレーションは本研究の主題ではないが、ユーザの体験をより豊かにすることと、ViBlock 動物図鑑の経験から得られた教育用アプリへの発展性を考慮して取り入れた。

VR Safari Park では2種類のユーザ視点を用意しており、世界構築の最中は目の前の世界樹コネクタを操作しながら、その世界の神様のような視点から眼下にあるサファリパークを生成する。ユーザは、世界構築終了後など任意のタイミングにおいて、グラウンドレベルの視点に降り立ち、動物たちを間近で観察したり触れ合うことができる。これらはデバイスのボタン1つで切り替えが可能である。アプリケーションの挙動やインタラクションの詳細に関しては動画^{*2,*3}も参照されたい。

5.2 評価・ユーザフィードバック

ブロックと世界樹コネクタを活用したインタフェースの操作性およびブロックを世界樹コネクタに接続する入力操作と世界構築体験や動物のモデルとのインタラクションなど、体験全体の楽しさの評価を目的として、ユーザスタディを実施した。また、2章で述べたブロックメタファの教育分野への利用の実績やViBlockの経験をふまえ、教育専門家による教育用ツールとしての可能性についての意見収集も実施した。

5.2.1 方法

評価実験の方法について説明する。本評価実験にあたり、バーチャル空間での世界構築体験が可能な創作ツールであるEditorVR [4] などとの比較も検討したが、VR Safari Parkのように3Dモデル出現時にエフェクトの発生や、3Dモデルのアニメーションが自動で動き出すような機能はなく、ブロックとコネクタを活用したインタラクションの手法について評価する上で、ベースラインとしての利用は難しい。そこで体験を素直に評価するためユーザの主観評価を収集する。ここでは、比較条件がない実験であること、ユーザビリティテストの意味が強かったこと、専門家への

意見収集を予定していたことなどを理由に実験参加者は8名(平均21.3歳、男女4名ずつ)とした。全員、HMDによるVR経験は数分程度で、日常的に使用する機会がある対象者はいなかった。また、4名が3DCADなどのモデリングツール利用経験があった。

実験では、実験参加者にVR Safari Parkを利用して所望のサファリパークを作成するように求めた。その後、インタビューとアンケートに回答してもらい、操作性や楽しさなどを評価した。なお、本評価実験においては、ViBlock動物図鑑の評価実験でのフィードバックをふまえ、ジェスチャ認識精度不足によってユーザの体験の質が低下することを避けるために、より安定して運用可能なOculus Touchを操作デバイスとして採用した。

次に、評価実験の流れを説明する。まず、実験参加者に車輪付きの椅子に着席してもらった。オペレータは実験概要の説明の後、VR Safari Parkのインタラクションフローや操作方法を動画も用いて説明した。操作方法に関する説明中、参加者はOculus Touchを手に持ち使用するボタンの位置などを確認しながら説明を受けた。その後、HMDを装着しブロックをウォールから取り出し、世界樹コネクタに接続する一連の操作を練習した。これらの練習終了後、実験参加者には4種類(地形、地上動物、飛行動物、天候)のブロックを最低1回は使用すること、最低1度視点を切り替えて動物とのインタラクションを体験することを指示し、世界構築体験を継続してもらった。体験時間は、実験参加者がHMDを利用した経験が少ないことと、酔いが発生する可能性を考慮して、約8分間の体験時間を設定した。この体験時間はパイロットスタディを実施した際に実験参加者が世界構築に満足するまでの時間を参考にした。体験終了後、実験参加者はアンケートに回答し、その後オペレータからの簡単な口頭でのインタビューを受けた。

アンケートによる主観評価では、世界構築体験を楽しむことができたかを評価することを目的として前章と同様のGame Flow理論をベースとしたアンケートを作成した。ただし、VR Safari Parkも体験者は1人を想定しており、ここではソーシャルインタラクションの項目を削除した5項目を用いた。なお、ViBlock動物図鑑より複雑な体験を評価するため、7段階評定とした。また、独自のアンケートを作成し、インタビューの結果とともに評価した。さらに、ViBlock動物図鑑の評価結果を参考に、提案インタフェースの操作性に関する評価手法として、SUS (System Usability Scale) [2] を利用した5段階のリッカート尺度のアンケートを用いた評価を追加した。

5.2.2 評価結果、考察

体験中の実験参加者の様子と、実際に作成したサファリパークの様子をそれぞれ図7(a), 7(b)に示す。体験開始前に練習の時間を設けていたこともあり、ウォールからブロックを取り出し、世界樹に接続する動作は全体的に円滑

*2 情報学広場から付録データ「世界樹とブロックのメタファによる探索型インタフェースを活用したVR Safari Parkの試作」を参照。

*3 情報学広場から付録データ「VR Safari Park: A Concept-based World Building Interface using Blocks and World Tree」を参照。

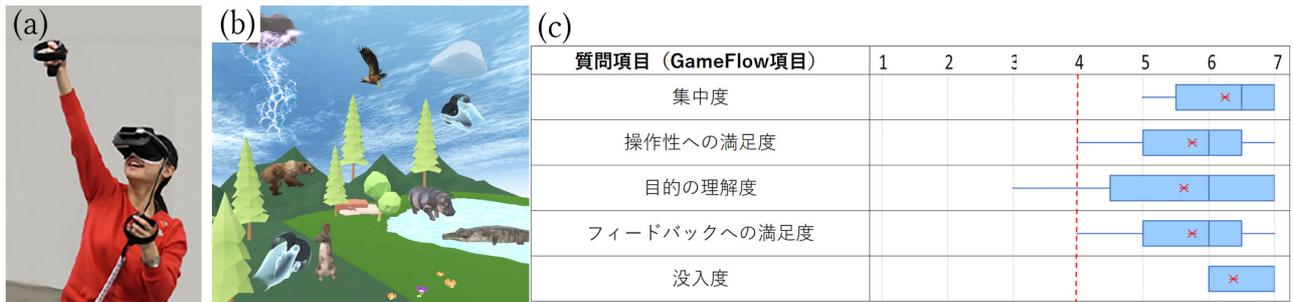


図 7 (a) 体験中の実験参加者の様子, (b) 実験参加者が構築したサファリパーク, (c) アンケート結果
 Fig. 7 (a) Participants in the study, (b) An example of the world created in the study, (c) Results of questionnaires (right).

表 2 操作性に関するアンケート結果
 Table 2 Results of system usability scale test.

アンケート項目	平均	標準偏差
Q1: このインタフェースをしばしば利用したいと思う	4.5	0.5
Q2: このインタフェースを理解するには説明が必要なほど複雑だと感じる	2.0	0.9
Q3: このインタフェースは容易に使いこなすことができると思う	4.4	0.5
Q4: このインタフェースを利用するには専門家のサポートが必要だと感じる	2.6	1.1
Q5: このインタフェースの機能は十分に統一感があると感じる	4.0	0.7
Q6: このインタフェースには一貫性のないところが多々あったと感じる	2.1	0.6
Q7: たいいていの人、このインタフェースの利用方法をすぐに理解すると思う	4.4	0.5
Q8: このインタフェースはとても操作しづらいと感じる	1.9	0.6
Q9: このインタフェースを利用できる自信がある	4.3	0.7
Q10: このインタフェースを利用するためには事前を知っておくべきことが多々あると思う	2.0	0.7
トータルスコア	77.2	7.0

であったが、体験開始直後はバーチャルなブロックとの距離感を掴み損ねている様子が見受けられた。この距離感のズレは体験が進むにつれて克服されていた。

VR Safari Park では、60 種類の 3D モデルのブロックを用意しており、実験参加者はその約半数にあたる平均 29.6 個のブロックを使用していた。このうち、地形に関するブロックが平均 13.6 個、地上動物のブロックが平均 8.1 回と頻繁に使われていた。また、世界構築の際に使用する動物の 3D モデルや、手順は人それぞれであったが、世界樹コネクタの周りに多数のブロックを展開し、ブロックを付け外ししながら、世界が変化の様子を観察している参加者もいた。また、世界構築中には平均 8.3 回視点切り替えの操作を行っており、自分が構築した世界をグラウンドレベルの視点からも試す様子が見られた。特に体験後半にはグラウンドレベルにて、平均 10.3 回地形の 3D モデルを移動させて地形の調整を行っていたことも分かった。地形の調整中などに動物に触れて反応を試す参加者もあり、平均で 8.6 回動物とのインタラクションが行われた。体験中、実験参加者がブロックを誤った階層の枝に接続を試み、ブロックが弾かれた回数は平均で 0.9 回であった。動画を用いた説明とチュートリアルにより実験参加者は世界樹コネクタの役割や使用方法を適切に理解していたと考えられる。

次にアンケート結果について述べる。SUS による提案インタフェースの操作性に関する評価結果を表 2 に示す。8

名の SUS は 77.2 ポイントであった。SUS に関する評価指標として、Bangor らによる手法 [1] にのっとると、Adjusting Rating は「GOOD」、ACCEPTABILITY RANGES は「ACCEPTABLE」であった。今回の参加者は VR に関する経験が少なかったが、そのようなユーザにとってもインタフェースとして改善の余地はあるものの十分な（許容範囲以上の）操作性が認められた。

次に、Game Flow 理論に基づく楽しさに関するアンケートの結果を図 7(c) の箱ひげ図に示す。5 項目の平均スコアは 6.0 であり、提案するブロックと世界樹コネクタを利用した世界構築や動物モデルとのインタラクションは参加者にとって十分に楽しいものであったと示唆される。本評価実験では Oculus Touch をコントローラとして用い、ブロックを掴んだ際にコントローラを振動されることで Haptic フィードバックを提示しており、ユーザからはブロックを掴んでいるのかどうか分かりやすかったという意見も得られた。また、ブロックを掴む判定のためにコントローラの人差し指トリガーボタンを用いたが、Oculus Touch の中指トリガーボタンの方が、掴む動作に近いのではないかという声もあった。図 7(c) の箱ひげ図より評価項目のうち、集中度と没入度に関する質問について特に高い評価が得られた。これは ViBlock 動物図鑑と同様である。世界樹コネクタの周囲にウォールが広がっており、ユーザは手が届く範囲の限られたワークスペースの中で、複数のブロックを

表 3 ブロックとコネクタに関するアンケート
Table 3 Results of questionnaires about blocks and connector.

アンケート項目	平均	標準偏差
Q1: ブロックをコネクタに接続してコンテンツを具現化する流れは分かりやすかったか	5.9	1.3
Q2: ブロックを壁から引き出して、コネクタに取り付ける操作は簡単だったか	6.1	0.8
Q3: ブロックの付け外しをスムーズに行えたか	5.9	0.8
Q4: 世界樹コネクタを利用することで、素早く、簡単に世界を組み立てることができたか	5.4	0.7
Q5: 世界を作ることを楽しめたか	6.4	0.9
Q6: どれくらい作成した世界に満足したか	5.1	1.2
Q7: 作成した世界の中を動物が歩き回る様子を見て楽しめたか	6.1	1.4

操作し、神様の視点から眼前に広がる広大なサファリパークを構築することができる。余計な身体移動も少なく、ブロックの組合せやそれにより発生するインタラクションの観察や世界構築に集中し没入できたと推察する。

次に、ブロックと世界樹コネクタを使った体験に関するアンケートの結果を表 3 に示す。Q1 より、ブロックと世界樹コネクタを活用した本研究の考え方はおおむね受け入れられたといえる。また、Q2 と Q3 への評定結果からも読み取れるように、ブロックをウォールから取り出して世界樹コネクタに接続する一連の動作も、スムーズに行われた。Q4 に関して、初めて VR 体験するユーザでも、細かな操作が不要で大胆に、簡単に世界を構築できる点が活きたのだと考えられる。前述した Game Flow 項目に関するアンケートや Q5, Q6 および Q7 の結果から、ブロックと世界樹コネクタを活用した入力操作から作成した世界でのインタラクションまでの体験全体を楽しむことができたと思われる。

アンケート終了後、実験参加者へのインタビューから得られた意見としては、「ブロックが周囲に並んでいたことで作りたい世界のイメージが広がった」、「ブロックを掴んで世界樹コネクタに取り付けるだけで、様々な動物が出てきて面白かった」などの好意的な意見があった。また、「天候のコンテンツと動物などの組合せによって、もっと違いがあればいいと思った」という意見もあり、より組合せを試せる体験を求める声もあった。一方で、「3D モデルを直接掴んで動かす操作が、掴みづらくて大変だった」との声があった。この意見に関して、Q5 の満足度については、高評価を得られたものの、コネクタによる自動配置後の細部の調整（たとえば細かなものを把持する操作など）がうまく機能しなかった可能性がある。また、地形に関する 3D モデルには小さなサイズのものも含まれていたため、これらの選択操作に関しては掴む判定を行う閾値の調整などが必要だと考えられる。

5.2.3 専門家からの意見収集

前節で述べた実験のインタビューの中でブロックの組合せを試すような体験を求める声を得られたことや、ViBlock 動物図鑑のアプリケーションの応用先として教育用途への利用が考えられることから、ブロックを用いた子ども向けロボット教室の 40 代男性講師と、積み木を活用した発達臨

床学に関する 50 代の大学教授職の男性を招へいして、意見を集めた（以後 I 氏, A 氏）。

実験はそれぞれ別日に 1 人ずつ行い、前述の実験手順と同様、提案インタフェースについての説明と、アプリケーションの操作方法を一通り説明した後、約 15 分間アプリケーションを体験してもらい、体験終了後に筆者らと約 30 分間のインタビューとディスカッションを行った。なお、2 人とも VR や HMD を装着する経験は少なかった。以下ではその結果の要点を報告する。

ブロックと世界樹を利用したインタフェースと世界構築体験全体について、通常の積み木よりも自由度が高く、高度な遊びにつながる（A 氏）などの意見があり好意的な意見を得た。また、提案インタフェースは十分に高い操作性を持ち、子どもでも能動的に遊ぶことができるだろうという意見（I 氏）や、ブロックをコネクタにつないだ際のエフェクトなどの報酬が探索的行動につながる可能性は高い（A 氏）といった意見があった。一方で、提案インタフェースを用いて世界構築をする際、前提となる知識がない中で創造性のある作業を行えるか否かは定かではなく、ある程度のシナリオや例を設けることが有効になるだろう（I 氏）との意見もあった。また、ブロックを使った操作に関してもコンテンツ操作の分かりやすさ、面白さについて高評価な意見を得た。

提案インタフェースの利用方法として、両氏から心理療法として幅広く用いられる箱庭療法と相性が良いのではないかという意見があった。また、バーチャル空間でブロックを組み立てるような運動機能に関するリハビリアプリケーションへの利用に関する意見を得られ、提案インタフェースの発展可能性も確認された。

6. 議論・今後の展望

6.1 提案と評価実験

本研究では、HMD ユーザがブロックを把持してコネクタに接続すると、既定の処理と出力がなされるという、新たなコンテンツ操作体系を検討した。その検討のために、2 つのアプリケーションを実装し、提供できうる体験や楽しさを明確に示した。それらの評価にあたっては、ブロックとコネクタそれぞれの有無やデザインに関する基礎的な検討ではなく、アプリケーションによる実際の体験を素直

に評価したため、要素の切り分けや統制条件を設けた厳密な評価を実現できていない。この点は本研究の限界であるが、本稿では基礎的研究を目的としておらず、Game Flow理論に基づくアンケート結果は、統制された体験ではなくユーザの本質的な体験を反映したものであることから、初期の洞察として十分な意義を持つと考える。今後さらに深い評価が必要である。

6.2 ブロックとコネクタ

2つの評価実験を通して、バーチャルなブロックを把持・移動してコネクタに接続する操作はスムーズに行われ、SUSによる評価や、表1と表3中の操作性に関する実験項目でも、初めて使用するユーザにとっても十分な（許容範囲以上の）操作性が確認された。これらはブロック遊びの基本的な操作であり、バーチャル空間においても直感的で、繰り返しの探索行動を引き出せたと考えられる。また、インタフェースの設計として、没入型VRの表現自由度の高さを生かした、エフェクトや音による報酬を提供できたために、それらも効果的に働いた。この点は識者からも明確に評価を受けた。なお、ブロックとコネクタの接続はおおざっぱな入力でも実現できるため、ユーザは正確な入力をする必要がなく次々とブロックの接続を続けられる。これが大きな特徴ではあるが、一方で、コンテンツの配置後の微調整の操作とのギャップは大きい（特にVR Safari Parkにおいて）。どのように世界の構築を進めるかはユーザ次第ではあるが、本インタフェースは大局の設計を助けることを重視しているため、創作物の完成度を高めるチューニング場面とのバランスについて今後検証する必要がある。ただし、基本的にはブロックとコネクタにより大局を構築し、その後、詳細な調整に入る手順や流れは妥当と考える。

6.3 ViBlock 動物図鑑と VR Safari Park

提案インタフェースの2つの実証例ともにユーザの手の届く範囲のウォールにブロック群を配置し、ブロックをコネクタで集約的に操作する設計であった。この操作についてはどちらにおいてもユーザにスムーズに受け入れられ、十分な操作性が認められた。また、2つの評価実験では、ともに集中度や没入度について高い評価が得られた。これはコネクタを中心としたコンパクトなワークスペースが効果的に働いたと考える。2つの実証例間の比較困難であるが、体験中に扱うコンテンツが増えたときにはVR Safari Parkで採用した階層構造はより協力的に機能すると考える。また、コンテンツが増えたときにはソート機能またはレコメンド機能なども必要になるだろう。

6.4 ブロック UI およびメタファ

2つの評価実験ではGame Flowを評価軸として楽しさに関する高い評価を得たが、これにはブロック遊びの本質

的な動作である、ブロックの接続を利用したコンテンツ操作体系の採用が大きな役割を担っていたと推察する。従来の実世界におけるブロック遊びと比べ、バーチャルなブロックでは現実空間のブロックが持つタンジブルな特性が失われる制約はある。一方でHMDを通して体験するバーチャル空間の表現自由度の高さ（視覚エフェクトやアニメーションなど）は、ユーザが入力操作を楽しみ、体験に没入するための大きな要因であると考えられる。なお、ブロックの効果はすでに多くの研究で認められているが、本研究により、没入型VRにおいてもブロックのメタファの効果は有効に作用したといえる。

6.5 他のインタフェースへの応用

専門家とのディスカッションからも得られたように、提案インタフェースはブロック遊びの特徴を大きく拡張し、試行錯誤や探索的な行動を強く引き出すことが期待できる。本研究の発展先として、3Dシーン（たとえばゲームなど）のラピッドプロトタイピングやイラスト作成なども候補としてあげられるが、関連研究で述べたとおり、ブロックのメタファは教育コンテンツとの相性が良いことから、楽しさを持つ教育ツール（エデュテインメント）としての可能性はぜひ検討を続けたい。主なターゲットとなりうる幼児や小学生低学年がHMDを装着できないという難点はあるが、本研究でのポイントは、ブロックとコネクタの接続と把持デバイスであるため、コンテンツを整えることができれば、大型の液晶ディスプレイにおいても、簡易的な世界や天候シミュレータが作れるかもしれない。

またブロックのメタファはビジュアルプログラミングとの相性の良さも確認されているが、提案インタフェースをこの観点から見れば、ブロックは構造を持つデータ、コネクタはブロックを引数とした関数に相当する。本研究の実証例ではコネクタは複数の入力をゆるしていたものの、ブロックの組合せにより発動される機能の変化がするような実装はなかった。ブロックとコネクタの機能の調整により、ビジュアルプログラミングのツールとしての発展可能性もある。

本研究では2つのアプリケーションは同一のコンテンツ群を共有した。ブロックとコネクタが他のどのような場面で、またはどのようなコンテンツに対して有効に働くかはこの研究からだけでは明らかではない。しかし、世界樹コネクタは階層を持つ場面で有用であることはいえ、たとえば、シムシティのような街のシミュレータとしても役立つ可能性は十分にある。ViBlockのような単純な形状は先に述べたプログラミングにおける関数と引数の学習などに有用であり、その他、パズルや知能系のゲームなどへの応用も十分に考えられる。

7. 結論

本研究では、没入型VR内におけるコンテンツの操作や

創作をより楽しく探索的なものにする「ブロック」と「コネクタ」を活用した新たなコンテンツ操作インタフェースについて検討した。ブロックのメタファを取り入れ、ユーザがブロックとして表現されたコンテンツを把持し、コネクタに接続したり分離したりすることで、様々な入出力を試すことができる。提案インタフェースの実証例として、ViBlock 動物図鑑と VR Safari Park を実装し、評価実験を行った。実験の結果、提案インタフェースの考え方や入力体系はユーザに受け入れられ、バーチャル空間での入力操作やインタラクションを通じて十分に楽しい体験を提供できることや、教育分野などへの発展性が確認された。今後は、ブロックとコネクタが体験の楽しさに与える効果のより深い評価や、より複雑なインタラクションを想定する場面での効果についての検討をしていきたい。

参考文献

[1] Bangor, A., Kortum, P. and Miller, J.: Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale, *Journal of Usability Studies*, Vol.4, No.3, pp.114–123 (2009).

[2] Brooke, J.: SUS - A quick and dirty usability scale, *Usability Evaluation in Industry*, pp.189–194 (1996).

[3] Cartwright, S.: Play can be the building blocks of learning, *Young Children*, Vol.43, No.5, pp.44–47 (1988).

[4] Ebrahimi, A., West, T., Schoen, M. and Urquidi, D.: Unity: EditorVR, *SIGGRAPH Real Time Live!*, p.27 (2017).

[5] Google: Blockly Games, available from <https://blockly-games.appspot.com/> (accessed 2019-08-18).

[6] Hasebe, Y., Kawakami, H., Hiraoka, T. and Nozaki, K.: Guidelines of system design for embodying benefits of inconvenience, *SIEC Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol.8, No.1, pp.2–6 (2015).

[7] 市川将太郎, 高嶋和毅, 北村喜文: 世界樹とブロックのメタファによる探索型インタフェースを活用した VR Safari Park の試作, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, pp.85–91 (2017).

[8] Ichikawa, S., Takashima, K., Tang, A. and Kitamura, Y.: VR Safari Park: A concept-based world building interface using blocks and world tree, *Proc. VRST*, No.6, 5 pages (2018).

[9] Ishikawa, M., Hagiwara, T., Takashima, K. and Kitamura, Y.: Viblock: block-shaped content manipulation in VR, *SIGGRAPH ASIA VR Showcase*, p.1 (2016).

[10] Itoh, Y., Akinobu, S., Ichida, H., Watanebe, R., Kitamura, Y. and Kishino, F.: TSU.MI.KI: Stimulating children’s creativity and imagination with interactive blocks, *Proc. International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing*, pp.62–70 (2004).

[11] 川上浩司: 不便の効用に着目したシステムデザインに向けて, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.11, No.1, pp.125–133 (2009).

[12] 北村喜文, エイミー・イー, 岸野文郎: 面間の動的拘束を用いた仮想物体の操作補助法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.79, No.2, pp.506–517 (1996).

[13] Kitamura, Y., Itoh, Y. and Kishino, F.: Real-time 3D interaction with ActiveCube, *EA CHI*, pp.355–356 (2001).

[14] KORG Import Division: littleBits, available from <https://www.littlebits-jp.com/> (accessed 2019-08-18).

[15] Leap Motion: Blocks, available from <https://gallery.leapmotion.com/blocks/> (accessed 2019-08-18).

[16] LEGO Group: mindstorms, available from <https://www.lego.com/ja-jp/mindstorms> (accessed 2019-08-18).

[17] Lifelong Kindergarten Group: Scratch, available from <https://scratch.mit.edu/> (accessed 2019-08-18).

[18] Merrill, D., Sun, E. and Kalanithi, J.: Sifteo cubes, *EA CHI*, pp.1015–1018 (2012).

[19] Mojang: MINECRAFT, available from <https://minecraft.net/ja-jp/> (accessed 2019-08-18).

[20] Nagai, J., Numano, T., Higashi, T., Tessier, M. and Miyata, K.: TSUMIKI CASTLE: Interactive VR system using toy blocks, *Laval Virtual*, No.26, 7 pages (2013).

[21] Oh, H., Deshmane, A., Li, F., Han, J.Y., Stewart, M., Tsai, M., Xu, X. and Oakley, I.: The digital dream lab: Tabletop puzzle blocks for exploring programmatic concepts, *Proc. TEI*, pp.51–56 (2013).

[22] Qi, Y., Wang, D., Zhang, L. and Shi, Y.: TanProStory: A tangible programming system for children’s story-telling, *EA CHI*, pp.1001–1006 (2015).

[23] Shapira, L., Amores, J. and Benavides, X.: TactileVR: Integrating physical toys into learn and play virtual reality experiences, *Proc. ISMAR*, pp.100–106 (2016).

[24] Sony: Mesh, available from <http://meshprj.com/en/> (accessed 2019-08-18).

[25] STEAM: World Builder, available from <https://store.steampowered.com/app/590530> (accessed 2019-08-18).

[26] Sweetser, P. and Wyeth, P.: GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games, *Computers in Entertainment*, Vol.3, No.3, No.1–24 (2005).

[27] 徳久 悟, 稲蔭正彦: エンタテインメントシステムにおける楽しさをデザインするためのインタラクションモデルに関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, pp.1097–1112 (2007).

[28] Unreal Engine: VR Editor, available from <https://www.unrealengine.com/en-US/blog> (accessed 2019-08-18).

[29] Vincur, J., Konopka, M., Tvarozek, J., Hoang, M. and Navrat, P.: Cubely: Virtual reality block-based programming environment, *Proc. VRST*, pp.84–85 (2017).

付 録

A.1 ViBlock 動物図鑑の評価実験設問表

Q1: Please rate your concentration level on this experience

Never concentrated	1	2	3	4	5	Highly concentrated
	○	○	○	○	○	

Q2: Please rate how well you were able to manipulate and explore content in ViBlock

Very bad	1	2	3	4	5	Very well
	○	○	○	○	○	

Q3: Please rate the level of your understanding of building block based interaction

Never understood	1	2	3	4	5	Highly understood
	○	○	○	○	○	

Q4: Please rate your satisfaction of feedback throughout playing

Never satisfied	1	2	3	4	5	Highly satisfied
	○	○	○	○	○	

Q5: Please rate how you were immersed in ViBlock

Never immersed	1	2	3	4	5	Highly immersed
	○	○	○	○	○	

Q6: Please rate do you want to share the experiences of ViBlock with someone

Strongly disagree	1	2	3	4	5	Strongly agree
	○	○	○	○	○	

A.2 System Usability Scale 設問表

1. このインタフェースをしばしば利用したいと思う
I think that I would like to use this system frequently.
2. このインタフェースは利用するには説明が必要なほど複雑だと感じる。
I found the system unnecessarily complex.
3. このインタフェースは容易に使いこなすことができると思う。
I thought the system was easy to use.
4. このインタフェースを利用するには専門家のサポートが必要だと感じる。
I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.
5. このインタフェースの機能は十分に統一感があると感じる。
I found the various functions in this system were well integrated.
6. このインタフェースは一貫性のないところが多々あったと感じる。
I thought there was too much inconsistency in this system.
7. たいていの人、このインタフェースの利用方法をすぐに理解すると思う。
I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.
8. このインタフェースはとても操作しづらいと感じる。
I found the system very cumbersome to use.
9. このインタフェースを利用できる自信がある。
I felt very confident using the system.
10. このインタフェースを利用するためには事前に知っておくべきことが多くあると思う。
I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.

解答は5段階

Strongly disagree	1	2	3	4	5	Strongly agree
	<input type="radio"/>					

A.3 GameFlow 項目の設問表

1. ブロックをコネクタに接続することで、コンテンツを出力するという流れは分かりやすかったですか。
とても分かりやすかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても分かりやすかった
2. ブロックを壁から引き出して、コネクタに取り付ける操作は簡単でしたか。
まったく簡単ではなかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても簡単だった
3. ブロックの付け外しをスムーズに行うことができましたか。
まったくそう思わない

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とてもそう思う
4. 世界樹コネクタを利用することで、素早く、簡単に世界を組み立てることができましたか。
まったくそう思わない

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とてもそう思う
5. 世界を作ることを楽しむことができましたか。
まったく楽しめなかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても楽しめた
6. どれくらい作成した世界に満足しましたか。
まったく満足しなかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても満足した
7. 作成した世界の中を動物が歩き回る様子を見て楽しめましたか。
まったく楽しめなかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても楽しめた

A.4 体験に関するアンケート設問表

1. どれくらい世界構築に集中できましたか。
まったく集中できなかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても集中できた
2. ブロックと世界樹コネクタを利用してどれくらい満足に操作できたか。
まったくそう思わない

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とてもそう思う
3. ブロックと世界樹コネクタを利用した世界構築の考えはどれくらい分かりやすかったですか。
とても分かりやすかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても分かりやすかった
4. フィードバック(音や振動等)はどれくらい感じられましたか。
まったく感じなかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても感じた
5. バーチャル環境にのめり込む感覚をどれくらい感じましたか。
まったく感じなかった

1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>						

 とても感じた



市川 将太郎

東北大学大学院情報科学研究科博士前期課程。VR コンテンツや 3DUI に興味を持つ。



高嶋 和毅 (正会員)

2006 年大阪大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2008 年同大学院博士後期課程修了。同年同大学院国際公共政策研究科助教。2011 年東北大学電気通信研究所助教。2018 年より准教授。博士(情報科学)。



石川 美笛

2017 年東北大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。同年 NTT コミュニケーションズ株式会社入社。在学中、ブロック型インタフェースの研究に従事。



北村 喜文 (正会員)

1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年キャノン(株)情報システム研究所。1992 年 ATR 通信システム研究所。1997 年大阪大学大学院工学研究科助教、その後同大学大学院情報科学研究科准教授。2010 年より東北大学電気通信研究所教授。博士(工学)。