

GENTORO：モバイル複合現実環境における ストーリーテリング支援システムの設計と評価

伊藤 俊 廷^{†1} ゲントゥン ゴク^{†1}
杉本 雅 則^{†1} 稲垣 成 哲^{†2}

本稿では、GENTORO と呼ばれるストーリーテリング支援システムを提案する。GENTORO では、ハンドヘルドプロジェクタを介してシーンをロボットに投影することで、モバイル複合現実環境でのストーリーテリングを行うことができる。これまでに小学校において GENTORO を用いたパイロットスタディを複数回実施し、技術的、実用的な観点よりシステムの要件を明確にした。本稿では、GENTORO を使用して作成されたストーリーや子どもたちの活動の分析結果についての考察を行うとともに、子どもたちの作品の創造性について定量的な評価を試みる。評価実験における子どもたちのストーリーテリングの様子とストーリー表現の分析により、GENTORO がストーリーテリングへの動機付けを高められることだけでなく、独自のストーリーの創作と協調作業を促進できることが示唆された。

GENTORO: Design and Evaluation of a System for Supporting Storytelling in Mobile Mixed-reality Environments

TOSHITAKA ITO,^{†1} TUAN NGOC NGUYEN,^{†1}
MASANORI SUGIMOTO^{†1} and SHIGENORI INAGAKI^{†2}

A system called GENTORO that uses a robot and handheld projectors for supporting children's storytelling activity is proposed. In GENTORO, children make a robot perform their own story in mobile-mixed reality environments. Pilot studies have been conducted to clarify the design requirements of GENTORO from both technological and practical viewpoints. We evaluate stories created by children and analyze activities in their storytelling through a user study of GENTORO. Moreover, a quantitative assessment of children's creativity in their story expression is conducted. Analyses of children's storytelling activity and story expression in the user study indicate that GENTORO's features can enhance their level of engagement and support their collaboration

and design of original story.

1. はじめに

物語を作ったり語り聞かせたりする行為は、ストーリーテリングと呼ばれる。ストーリーテリングは子どもたちの思考能力、言語能力、表現力、コミュニケーション能力などの発達に有益であると考えられ、教授手法として学校教育の現場でも採用されている¹⁵⁾。さらに近年では、計算機メディアを用いてストーリーテリングを支援するシステムに関する研究がさかんに行われている。これらの研究では、コンピュータのスクリーン上で行うデスクトップ型のストーリーテリング支援システムだけでなく、センサなどを用い実世界とのインタラクションを強化することで、子どもたちのストーリーテリングへの動機付けを高めることを目指すシステムも構築されている。

しかし既存の研究において、子どもたちが独自にストーリーを作成し、物理的なキャラクターを用いてストーリーを表現するシステムは、筆者らの知る限りでは見あたらない。子どもたちが自身が作成したストーリーを物理世界において展開し、その中を物理的な実在であるロボットを役者のように振る舞わせることができれば、映画や特撮感覚でのストーリーテリングが可能となると考えられる。これにより、子どもたちのストーリーテリングに対する動機付けを高めることができ、創造的なストーリー作成や表現を支援できると期待される。

そこで我々は、ロボットとハンドヘルドプロジェクタを用い、以下の特徴を備えたシステム GENTORO⁸⁾ を提案する。GENTORO では、ハンドヘルドプロジェクタから投影される画像をストーリーのシーンとし、それをロボットに投影してストーリー実演を行う(図1)。提案システムにより複合現実の手法でロボットの周辺情報が視覚的に拡張され、子どもたちはストーリーのキャラクターであるロボットを操作することができる。

本稿の目的は、以下のようにまとめることができる。

- 子どもたちのストーリーテリングへの動機付けを高める

GENTORO では、ハンドヘルドプロジェクタによる投影画像を用いた複合現実環境で、

^{†1} 東京大学
The University of Tokyo

^{†2} 神戸大学
Kobe University

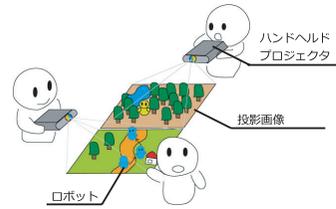


図 1 GENTORO の概要
Fig. 1 An overview of GENTORO.

参加者に没入感を与える。また、実世界に存在する操作可能なロボットを演者としてすることで、子どもたちのストーリーテリングへの興味のレベルを高めることができる¹⁶⁾。

- 子どもたちの協調的なストーリーテリングを支援する
複数台のハンドヘルドプロジェクタを用いたロボット操作により、子どもたちが互いに協力しながらストーリーを実演する環境を提供する。また、仮想世界に閉じるのではなく、実世界をプレイフィールドとすることで、ストーリー実演中に子どもたちがロボットを中心に自由に動き回りながらストーリーテリングを行うことができる。さらに、モバイル型のシステムにより、子どもたちの実世界での活動を促進し、身体的な参加を促進するストーリーテリングを支援する。
- 子どもたちの創造的なストーリー作成を支援する
ロボットを使用することで、物理世界での実在感のあるストーリー表現が可能となる。さらに、ハンドヘルドプロジェクタでロボットの背景を視覚的に強化することで、与えられたストーリーではなく、子どもたち独自のストーリー作成を支援できる。

本稿で提案する GENTORO は、CoGAME¹⁷⁾ と呼ばれるシステムを拡張することにより設計、実装された。CoGAME は、ハンドヘルドプロジェクタを用い、ロボットを複数人で協調しつつ操作できるなど、GENTORO と共通の機能を持つ。しかし、GENTORO は、小学生を対象としている点、ストーリーテリングを支援する点など、その目的が異なっている。よって、GENTORO の設計および実装にあたっては、複数の小学校と協力してパイロットスタディを繰り返しつつ、設計要求を明らかにするというアプローチをとった。

本稿の構成は以下のとおりである。次章では本研究と関連のある先行研究について紹介する。3 章では、本研究で提案するシステム GENTORO のデザインプロセスについて述べる。4 章では、現バージョンの GENTORO 2 のデザインとシステム構成について述べる。5 章では、GENTORO 2 の評価実験について述べる。6 章では、5 章で行った実験結果に

ついて考察する。最後に、本研究の結論と今後の課題を述べる。

2. 関連研究

本章では、子どもを対象としたストーリーテリング支援システムに関して、GENTORO との関連が深いと考えられる研究について示す。Jabberstamp¹⁰⁾、FaTe2⁵⁾、KidPad⁶⁾ は、デスクトップ型のストーリー作成支援システムである。Jabberstamp は、子どもたちの描画と音声を同期させる機能を持つ。FaTe2 は、Web インタフェース上の仮想空間での協調的なストーリーテリングを支援する。KidPad では、対面状況で複数の子どもたちによる同時入力が可能な local tool を用いてストーリーテリングが行われる。Howland⁷⁾ らは、ストーリープロットの作成を支援するため、カードベースのインタフェースによるシステムを提案している。これらのシステムでは、ストーリーに出現するオブジェクトやシーン間の関連付けにより、構造的なストーリーを作成することができる。物理空間型のストーリーテリング支援システムとして、KidsRoom³⁾、StoryMat¹¹⁾、Magic Carpet¹⁾、PETS⁴⁾、SAGE¹³⁾ があげられる。KidsRoom は、プロジェクタの投影画像、音楽、ナレーション、光、音響効果などを用い、部屋全体を使ったストーリーテリングを可能にするシステムである。ただし、KidsRoom では、子どもたちが主体となってストーリーの内容を作成することができない。Montemayor ら⁹⁾ は、子どもたち自身で KidsRoom をよりインタラクティブにするための物理的なプログラミングツールを提案している。StoryMat は、子どもたちの声と彼らが遊ぶおもちゃや道具の動きを記録することにより、子どもたちのストーリーを保存し、それを再生することができる。また、以前に使用した子どものストーリーを再生し、それをういて自分のストーリーを作成することもできる。Magic Carpet は、物理空間でのストーリーテリングを可能にするために、KidPad を拡張したシステムである。PETS は動物型のロボットとのインタラクションにより、ストーリーテリングを支援する。SAGE は対話エージェントを実装し、ストーリーの編集や動物のぬいぐるみを介した会話の実現を目指したシステムである。これらのシステムは、物理空間を利用する、あるいはロボットを利用する点で GENTORO との共通点を持つ。しかし、GENTORO は、ロボットを物理空間で操作しつつ子どもたちの協調的なストーリーテリングを行うことを目的としている点で、これらのシステムとは異なる。

3. デザインプロセス

3.1 設計方針

図2は、GENTOROによるストーリーテリング支援のモデルである。子どもたちは、まず自分たちの構想に基づいてストーリーに登場するロボットの台詞やナレーションを作成する(図2a)。次に、ロボットのシーン画像を作成し(図2b)、物理世界でのロボットの動きをデザインする(図2c)。そして、作成したストーリーを実世界で実演する(図2d)。このプロセスを繰り返すことにより、ストーリーの構築を進める。このうちGENTOROによって支援すべきと当初考えたプロセスはb~dであり、そのためにシステムに必要となる機能は以下の3つであった。

- ストーリー中のシーン画像作成を支援する機能
- ロボットに発生するイベント設定を支援する機能
- ストーリーの実演を支援する機能

提案するシステムを実際に構築するにあたり、著者らはまずロボットをハンドヘルドプロジェクトで操作しつつストーリー実演を行うという考え方が子どもたちにとって受け入れられるかどうかを、GENTORO 0の評価実験で確認した。次に、子どもたちが提案システムを使用してストーリーテリングを進めるには、どのような機能が必要であるかをシーン作成を中心に検討し、GENTORO 1を構築してその評価実験を行った。GENTORO 0およびGENTORO 1で得られた結果をふまえてGENTORO 2の設計を行い、5章以降で議論す

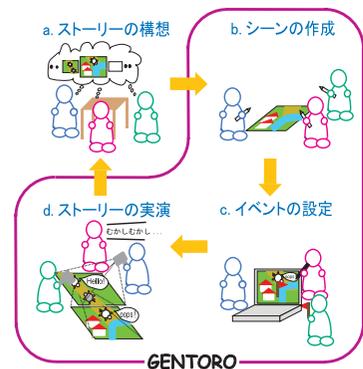


図2 GENTOROを使用したストーリーテリングの進め方
Fig.2 How to conduct storytelling using GENTORO.

る評価実験を行った。

3.2 GENTORO 0

GENTOROでは、子どもが作成したストーリーのキャラクターをロボットに演じさせる必要がある。そこで、著者らはこれまで開発を進めてきたCoGAME¹⁷⁾と呼ばれるシステムを基にGENTORO 0を構築することにした。CoGAMEは、ハンドヘルドプロジェクトを用い、他者と協調しつつロボットを操作、誘導するシステムである(図3)。ロボットはハンドヘルドプロジェクトから投影される道の画像に沿って移動するので、直感的にロボットを操作することができる。また、複数のユーザがそれぞれの道の画像をつなげることで、ロボットを操作する権限が自動的に受け渡され、交互にロボットを操作できる。ロボットの認識には、ハンドヘルドプロジェクトに搭載したUSBカメラにより、ロボットに取り付けられた赤外線LEDを認識するという手法を用いている。GENTORO 0では、CoGAMEと同様に既存の投影画像をシーンとして用いるが、ストーリーをより視覚的に表現し子どもたちの発話を促進するために、キャラクターの台詞をシーンに吹き出しとして表示する機能を追加した。

GENTORO 0による予備実験(参加者は千葉県柏市内の小学4,5,6年生24人)では、ハンドヘルドプロジェクトを用いたロボットの操作を子どもたちが容易に理解し、操作できることを確認した。また、実験中の様子から、子どもたちがロボットを操作しながら、あるいは移動しているロボットやシーン中に描かれているキャラクターの台詞のふきだしを見ながら、ナレーションを行ったり操作に対する指示を出したりする様子が頻繁に観察された。

一方、ハンドヘルドプロジェクトが持ちにくいいため、安定的にロボットを操作することが難しい場面が見られた。そのため、取っ手をつけるなどの工夫により、子どもたちが保持しやすいようにする必要があることが分かった。また、プロジェクトに取り付けられたカメラがロボットの認識に失敗しロボットを操作できないとき、その理由が分からず戸惑う様子が見られた。したがって、カメラがロボットを認識しているかどうかを、子ども自身が簡単に把握できるような情報提示機能を実装する必要があることも分かった。さらに、小柄な子ども(主に小学4,5年生)の場合、プロジェクトを介して投影される画像が小さくなり、台詞のふきだしの判別がしにくくなる傾向が見られた。

3.3 GENTORO 1

GENTORO 1では子どもたちにとっての使いやすさに配慮し、当初は図4のようにタブレットPCを用いたシーン作成支援機能を実現した。また、子どもたちが作成した複数のシーンを管理し、それらを指定された順に再生しながらストーリー展開が行えるようにする

ためのシーン再生機能を構築した。この機能により、複数のプロジェクタに対し適切な順番で交互にシーンを投影しつつ、ロボットを操作できるようになった。

GENTORO 1 を用いた評価実験（参加者は柏市内の小学 6 年生 7 人）では、子どもたちが議論をしながらストーリーのシナリオ・台詞の作成を行うとともに、シーン作成支援機能を用いてロボットに投影するシーンを作成した。本実験により、GENTORO 1 を使用することで、子どもたちがストーリーの構想から実演までを行えることが確認できた。一方、提案するシーン作成支援機能がストーリーテリングの妨げとなる場合があることも分かった。具体的には、今回開発したシーン作成支援機能では簡単な図形しか描けず、タブレット PC の解像度が十分でないため、細かい背景の描画を子どもたちがうまく行えない様子が観察された。また、ストーリー実演では、シーン切替えの際の問題が明らかになった。本実験では、子どもたちの担任教員の提案により、ロボットをはじめとして各シーンに登場するキャラクターの台詞とナレーションを子どもたちに発話してもらった。これは、3.2 節で述べたふきだし中の文字の判別のしにくさに加え、子どもたちがストーリーの情景やキャラクターの心情を理解したうえで、それを感情豊かに発話するという課題になると考えたためである。シーン切替えは、各々の台詞やナレーションが終了するタイミングで行われる必要がある。しかし、GENTORO 1 の実装では、ロボット操作者が現在のシーンと次のシーンの投影画面を重ねることでシーンの切替えが行われるため、台詞やナレーションの終了タイミングと必ずしも一致せず、ストーリー実演がスムーズに進まない場合が見られた。対応策としては、あらかじめプレイフィールド上に目標物となる物体を配置し、シーン切替えを行う目安となる場所を子どもたちが共有できるようにする、ストーリー進行を把握し他の子どもたちに対してシーン切替えの指示をする役割を 1 人の子どもに担当してもらう、などが考えられた。

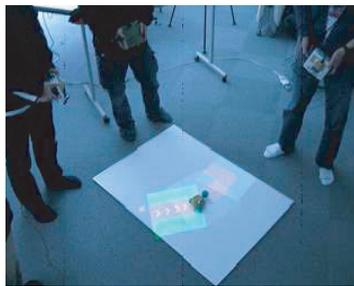


図 3 CoGAME 使用中の様子
Fig. 3 CoGAME in use.



図 4 タブレット PC を用いたシーン作成支援機能
Fig. 4 A scene making function using a tablet PC.

4. システム構成

4.1 設計方針

GENTORO 2 の設計では、GENTORO 0 および GENTORO 1 の実験を通して得られたフィードバックを基に、システム的设计と改良を進めた。

4.2 手描きによるシーン作成

GENTORO 1 のシーン作成支援機能では、操作性や描画の自由度が不十分であったため、細かいシーンを描画することは困難であった。そこで GENTORO 2 ではスキャナを利用し、図 5 に示すように子どもたちが紙に描いた絵をシーンとして投影できるように実装した。

4.3 シーンの切替え用リモコン

GENTORO 2 では、子どもが意図するタイミングでシーンを切り替える機能を実装した。具体的には、図 6 に示すように Wii リモコン（任天堂）のボタンにシーンの送りと戻し機能を対応付けて、シーン切替えのコントロールをできるようにした。

4.4 ロボット非認識時の警告

ハンドヘルドプロジェクタに搭載されたカメラによるロボットの認識は、カメラとロボットの角度や手ぶれなどの影響を受けるため、カメラフレーム内にロボットをとらえていても認識に失敗する場合がある。よって、カメラがロボットを一定時間認識できていない場合には、プロジェクタの投影画面に図 7 のように表示し、ロボット操作者の注意を促すようにした。



図 5 紙の上でシーンを作成する子どもたちの様子
Fig. 5 Children drawing a scene on paper.



図 6 Wii リモコンによるシーンの切替え機能
Fig. 6 A function to switch scenes by a Wii remote controller.



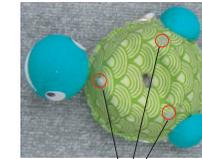
図 7 ロボットを認識できないときの表示

Fig. 7 An indicator for letting children know that the robot recognition fails.



図 9 モバイルプロジェクションユニット

Fig. 9 Mobile projection unit.



赤外線LEDランプ

図 10 ロボット

Fig. 10 Robot.

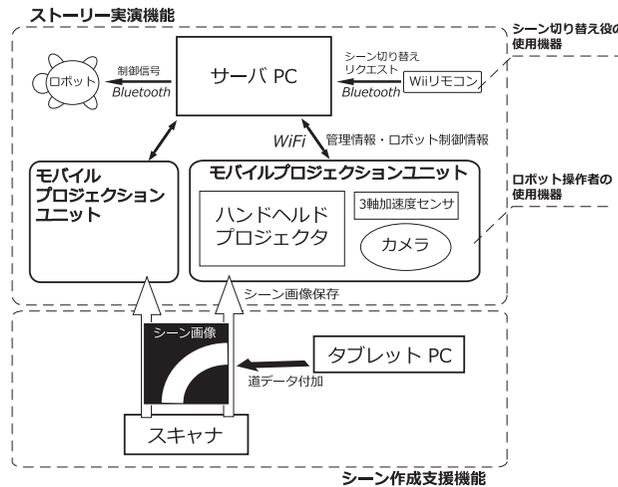


図 8 GENTORO 2 のシステム構成

Fig. 8 System architecture of GENTORO 2.

4.5 システム全体の動作

以上の改良により、現バージョンの GENTORO 2 は、図 8 のようなシステム構成となった。ストーリー実演機能は、モバイル PC、ハンドヘルドプロジェクタ、USB カメラ、3 軸加速度センサをセットとするモバイルプロジェクションユニット (図 9)、サーバ用のノート PC、シーン切替え操作用の Wii リモコンから構成される。また、シーンの再生をする前に、あらかじめ子どもたちが紙の上に描画したシーンをスキャナで読み込み、タブレット

PC で道データを付加して、各モバイル PC に保存する (図 8 のシーン作成支援機能)。

ストーリーの実演では、各モバイル PC が加速度センサから取得したデータからプロジェクタの姿勢を計算する。プロジェクタの姿勢を基に、投影画像の変換を行い、投影画像が正方形となるように実時間補正をする。また、ロボットに取り付けられた赤外線 LED のカメラ画像を基にロボットの位置と方向を検出し、先に求めた補正の変換により投影画像内でのロボットの位置を求め、サーバ PC へ無線 LAN を経由して位置情報などを送信する。サーバ PC は接続中の各モバイル PC の状態管理 (ロボット操作中または待機中) とロボット (図 10) の制御命令の生成を行い、Bluetooth アダプタを経由してロボットへ信号を送る。ロボットには PIC、小型モータ、Bluetooth モジュールを搭載し、ラジコンカーのようにサーバからの制御信号に従って動作する。また、Wii リモコンからのシーン切替え信号は Bluetooth 経由でいったんサーバ PC で受信され、無線 LAN 経由で各モバイル PC に送信されて状態の更新が行われる。

5. GENTORO 2 の評価実験

5.1 実験目的と方法

本評価実験の目的は、GENTORO 2 による子どもたちの創造的かつ協調的なストーリーテリング支援の効果を示すことである。具体的には、実世界でのロボットや物理的なオブジェクトとのインタラクションが子どもたちのストーリー表現や協調作業に与える影響を、プロトコル解析やビデオ分析を通して明らかにすることを旨とする。

2008 年 6 月に、兵庫県神戸市内の小学校 6 年生の男女 25 人 (男子 10 人、女子 15 人) を対象に、GENTORO 2 の評価実験を行った。実験にあたっては、小学校の教師に協力してもらい、希望者を募った。各グループのメンバを 5 人とし、A~E の 5 つのグループに分けた。各グループ計 2 回ずつ、ストーリーの構想からシナリオの作成、シーンの作成、ス

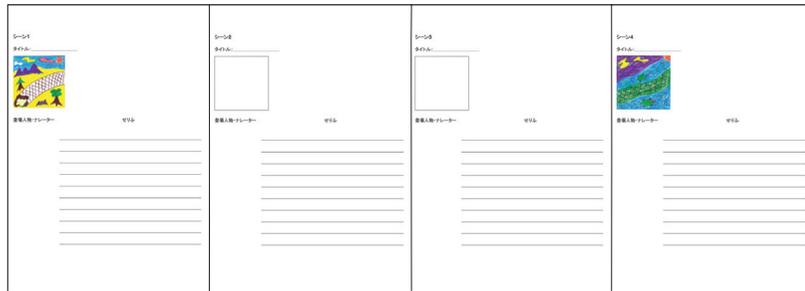


図 11 実験で使用したワークシート

Fig. 11 An example worksheet used in the experiment.

ストーリー実演に至る実践を行ってもらい、約 3 時間で 1 つのストーリーを完成させた。

2 回の実践を行う目的は、ロボットとハンドヘルドプロジェクタを用いた物理世界のストーリー表現を経験することで、子どもたちのストーリー表現がどのように変化するかを調べるためである。本実験では小学校側の時間的制約のため、シーン画像の最初と最後をあらかじめ実験者が用意した。1 回目の実践では、子どもたちに図 11 に示すワークシートを使用してもらい、1 番目と 4 番目のシーンの台詞とナレーション、および 2 番目と 3 番目のシーン画像、台詞、ナレーションを考えてもらった。2 回目の実践では、時間的な制約のため 1 回目で作成したストーリーの 2 番目と 3 番目のシーン画像、台詞、ナレーションを対象に、子どもたちに自由に変更を行ってもらった。

子どもたちがシーンを描く際には、ロボットの通る道を考慮してもらった。実験者は紙に描かれたシーンをスキャナでシステムに取り込み、子どもたちの意図するロボットの通り道をタブレット PC を用いて設定した。ストーリー実演時の各グループの 5 人の役割は、シーンの切替え役 × 1、ロボット操作者 × 2、台詞担当者 × 1、ナレータ × 1 とした。

本実験では GENTORO 1 の教訓から、各シーンでのロボットの移動先となる目標地点を分かりやすくするために、人形、おもちゃ、積み木などの物理的なオブジェクトを用意し、子どもたちにストーリーを表現する道具として自由に利用してよいと伝えた。実験中は子どもたちの様子をビデオ撮影と音声録音で記録した。以下に具体的な実験手順を示す。

事前の導入

1) インストラクション：実験者によるストーリー実演のビデオを子どもたちに見せ、各々の役割について説明した(約 10 分)。2) テーマの決定：教師に事前に決めてもらったストー



図 12 物理的なオブジェクトを使用している様子

Fig. 12 Children using physical objects.

リーのテーマ「友情、命、家族、自然、夢、未来、環境問題」の中の 1 つを、各グループに選んでもらった(約 5 分)。3) 役割の決定：各グループ内でのストーリー実演時の役割を子どもたちで決めてもらった(約 5 分)。4) ストーリー実演の体験：ストーリーの実演機能やロボットの操作方法を知ってもらうために、2 人ずつ交代で既存のシーン画像を用いてロボットを操作してもらった(1 組あたり 2~3 分で合計約 30 分)。

ストーリーテリング

1) ストーリーの構想：ワークシートを使用して、各シーンのタイトル決め、台詞とナレーションの作成、シーンの描画、物理的なオブジェクトの選択と配置を行ってもらった(約 120 分)。2) ストーリー実演の練習：各グループが実際にシステムを使用して、1) で作成したストーリーの実演を練習してもらった(約 10 分)。3) ストーリー実演の本番：各グループごとに、システムを使用してストーリー実演をしてもらった(1 回約 3 分)。

5.2 実験結果

各グループとも、実験時間内にストーリーの実演までを行うことができた。それぞれのグループは、物理的なオブジェクトをキャラクタや背景のオブジェクトとして積極的に活用しつつ、3.6m×3.6m のプレイフィールドを広く使ったストーリー実演を行っていた(図 12)。手描きによるシーン作成

GENTORO 2 では、子どもたちのシーン作成を容易にするために、ふだん使い慣れている紙とマジックペンでシーンを作成してもらった。図 13 と図 14 のシーンを比べると GENTORO 1 よりも GENTORO 2 の方が細部までシーンのオブジェクトが描かれていることが分かる。また、GENTORO 2 の実験では、2 人で協調してシーン画像を描く場面を観察することができた。

シーンの切替え用リモコン

シーン切替え役の子どもからは、リモコン機能が使いやすいという意見を得た。子どもたちのストーリー実演の様子を見ると、台詞の長さやロボット操作者に合わせてタイミングよくシーンを切り替える様子が見られた。ロボットの動き、台詞に対応してシーンが明確に変わるため、ストーリー構成が分かりやすくなっていた。

ロボット非認識時の警告

ロボット非認識時の警告については、ロボット操作者は警告表示を確認し、プロジェクトをロボットに近づけるなどして、確実にロボットを認識させようとしていた。この警告表示に関して、子どもたちの否定的な意見は得られなかった。しかしながら、シーンの中央に図7のように大きく警告が表示されるため、子どもたちのストーリーテリング活動への没入の妨げになっていたと考えられる。警告を視覚化する手法を変更する、ハンドヘルドプロジェクトに振動モータを取り付けて、ロボット操作者のみに情報提示するなどの方法を今後検討する必要がある。

ハンドヘルドプロジェクトによるロボット操作

GENTORO 0, GENTORO 1 での実験と同様、子どもたちはロボットを容易に操作できることを確認した。ロボットが通る道を投影して操作する手法は、視覚的にロボットの移動方向が提示されるため、演出家・舞台監督の立場でストーリーテリングを行う子どもたちにとって直感的で分かりやすいと考えられる。また、実世界のロボットを投影画像で拡張する複合現実感手法に加え、ロボットに追従し互いに協調してストーリーテリングを行うことが、GENTORO で実現されるストーリーテリング支援環境への没入感を高める方向に作用

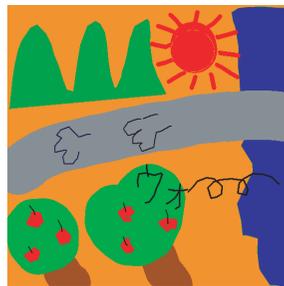


図 13 タブレット PC によるシーン (GENTORO 1)

Fig. 13 A scene drawn using a tablet PC (GENTORO 1).



図 14 手描きによるシーン (GENTORO 2)

Fig. 14 A scene drawn by hand (GENTORO 2).

すると推測される。

6. 考 察

6.1 子どもたちのストーリーテリング活動

本章では前章で述べた GENTORO 2 の評価実験における子どもたちの活動を観察し、それに基づいて考察を行う。

6.1.1 物理的なインタラクションによるストーリー表現

表 1 は、ロボットと物理的なオブジェクトとのインタラクションを含んだ場面のリストである。このうち、A グループの「バンダの人形にロボットがぶつかる」というイベントが発案されるまでに実際に行われた子どもたちの会話を、表 2 に示す。子どもたちはバンダの人形をどのように登場させるかについて、活発な議論を交わしていることが分かる。このようにロボットの動きに結び付いた物理的なインタラクションが多く見られたのは、ロボットが実世界に存在し、かつそれを自由に操作できることに起因していると考えられる。

また、1 回目と 2 回目のストーリーにおいて、表 3 に示すように物理的なオブジェクトの使い方を変えたグループが確認された。A グループの 1 回目のストーリーでは、3 番目の

表 1 物理的なインタラクションを含むイベント
Table 1 Events including physical interactions.

グループ	イベント内容
A	バンダの人形にロボットがぶつかる
A	バンダの人形をつかみロボットと一緒に移動させる
A	ロボットの周りにフルーツを落下させる
B	ぜんまい式のおもちゃを動作させる
B	ロボットの口に棒を取り付けてガイコツの人形に押し倒す
C	物理的なオブジェクトで並べて作られた道の間をロボットが通る
E	ロボットの体当たりで 2 つのキャラクタを連続して押し倒す

表 2 キャラクタの登場方法について行われた会話
Table 2 Discussions on a way of a character's appearance.

男の子 1 :	白黒の丸いもの。
女の子 1 :	変な生き物にしたら？変なもの。
男の子 2 :	変なものにぶつかりましたでいいやん。
女の子 2 :	変なものがいましたの方がよくない？
女の子 1 :	あ、でもぶつかった方がなんかインパクトが出るやん。
女の子 2 :	あー、そっか。

表 3 ストーリーの変化
Table 3 Story changes.

	グループ A	グループ B
1 回目	フルーツのオブジェクトを舞台上に置く	ガイコツ人形のそばをロボットが通過する
2 回目	フルーツのオブジェクトを上から降らせる	ロボットに棒を持たせてガイコツ人形を倒す

表 4 ストーリーの内容変更を議論する際に行われた会話
Table 4 Discussions on story changes.

女の子 1 :	カメの危険? 危機か. 危機っていうところで, 落とし穴?
女の子 2 :	あー, 落とし穴いいかも!
	(中略)
男の子 1 :	無理やなー.
男の子 2 :	落とし穴掘るのはできんやろ, そこに.
女の子 3 :	掘るのは無理でも.
女の子 1 :	じゃあ絵にしない? 絵を変えて.
女の子 2 :	絵にするっていうか.
男の子 1 :	それでもさー.
男の子 2 :	いってるようなリアルに体感することはできない
	(中略)
女の子 1 :	じゃあ落とし穴はやめてー. (黒板を指して) 自然だから, あのとえばー, えっとー, 鳥の集団につつかれるとか.
一同 :	(納得するように) うーん.
	(中略)
女の子 2 :	ここは追いかけるのではなくて, なんか上になってたものが, パーって.
女の子 1 :	はりが落ちてくるから, それで.
男の子 1 :	(手にりんごを持って) 果物!
女の子 2 :	果物が落ちてきたらいいじゃん.

シーンのタイトルが「カメの危機」であった。2 回目の実践中には、当該シーンをどのように変化させるかについて活発な議論が観察された（表 4）。実際にいくつかの物理的なオブジェクトを机の上に持ち出し、オブジェクトや投影画像でどのように「カメの危機」を表現するかについて話し合っていた。そして、フルーツのオブジェクトをロボットの上から降らせる新しい演出を考案した（図 15）。一方、B グループでは、ロボットと人形を机の上に並べて検討するうちに、人形を倒すには棒があったほうが良いと考え、ロボットの口に棒を挟むという演出を行っていた（図 16）。

以上のように、子どもたちは実体のあるロボットと物理的なオブジェクトを利用し、互いに協力しつつ創意工夫しながらストーリーの作成から実演まで行えることが分かった。さらに、GENTORO を使用した 1 回目の作品よりも 2 回目の作品の方が、より物理的かつ動的



図 15 フルーツの雨のシーン
Fig. 15 A scene on a fruit rain.



図 16 棒を取り付けたロボット
Fig. 16 A robot with a stick.



図 17 A グループのストーリー実演の様子
Fig. 17 Story expression by group A.

なストーリー表現が含まれている例が確認された。

6.1.2 協調作業

A グループのストーリー実演（図 17）では、ナレータ役の子どもがシーン 1 の最後のナレーションを語りつつロボット操作者に「こっち、こっち」と手を振り、ナレーションを語り終わると同時に次のロボット操作者のシーンに切り替えるように合図する様子が観察された。また、フルーツのオブジェクトを降らせる場面では、待機中のロボット操作者がシーン切替え役の子どもにオブジェクトの準備を促し、台詞役の子どもが合図することでフルーツを降らせるタイミングを調整していた。このように、GENTORO を用いたストーリー実演では、ロボットの操作、ナレーションと台詞の発声、物理的なオブジェクトの配置や移動などを考慮してストーリーの進行を調整する必要がある。GENTORO では、プロジェクタの投影画面をロボットに照らして操作するため、操作者はロボットに追従して移動し、他の役割の子どもたちもロボットを囲んでストーリー実演を行う。一方、ジョイスティックを利用

した操作であれば、操作者がロボットに追従して動く必要が必ずしもない。GENTORO では、実世界のフィールドを利用し移動するロボットとともに子どもたちがストーリーテリングを行うという状況設定により、ストーリーテリングへの身体的な参加が強化される。それにより、子どもたちの間で行為の調整と協調作業が促進されたと考えられる。

ストーリーテリング実践後、子どもたちからは、ロボットの移動速度が遅いと感じるという意見が得られた。その原因の1つとして、視覚的に不変な同一シーン中のロボットの移動距離や台詞が長くなると、ストーリーが単調で移動速度が遅く感じられるという可能性が考えられる。グループによっては、ナレーションや台詞が終了するまでにロボットがシーン中の目標地点に到達できない場合も観察された。そのため、ロボット操作者、ナレータ、台詞担当者が、シーンごとに互いのタイミングを調整しながら、ストーリー実演を行うグループも見られた。子どもたちの円滑なストーリー実演を支援するために、ロボットの速度をシーンごとに調整できる機能についても検討する必要があると考える。

6.1.3 動機付け

6.1.1 項で述べたように、子どもたちはロボットと物理的なオブジェクトのインタラクションを積極的にストーリーに取り入れ、その演出についての議論を活発に行っていた。ロボットをストーリーのキャラクタとして操作し、自分たちが配置した物理的なオブジェクトや作成したシーンで強化された複合現実環境で演じさせられることが、子どもたちのストーリーテリングへの動機付けとなっていたことが示唆される。また、実験後のインタビューを通して、より長時間にわたってシステムを利用したいという意見が子どもたちから得られた。一方、GENTORO のようなシステムでは、新規性効果により子どもたちの動機付けや興味のレベルが一時的に高められた可能性も考えられる。よって、長期的な評価実験を通して、動機付けに関する GENTORO の効果を検証する必要がある。

6.2 CPSS による創造性の評価

GENTORO 2 で子どもたちが1回目に作成した作品と2回目の作品の創造性の比較を、CPSS (Creative Product Semantic Scale) (Besemer ら²⁾) を用いて行った。CPSS とは、質問項目に対する評価者の回答を通してアイデアや作品の創造性を、新規性 (Novelty)、精巧さと統合 (Elaboration and Synthesis)、解決 (Resolution) の3つの次元で数量化する手法である。この比較結果から、物理的なストーリーテリングの経験 (1 回目の作品) が、より創造的なストーリーの表現 (2 回目の作品) を促進するのかどうかを確認することとした。

6.2.1 評価方法

5 グループの各2作品 (計10作品) を以下の尺度項目で、著者らの所属専攻の大学院生5人 (男性5人、年齢23~28歳) に評価してもらった。White らが提案した CPSS の縮小版¹⁴⁾ では、新規性、精巧さと統合、解決の3つの次元にそれぞれ5つずつ尺度項目が含まれる。評価者の負担を軽減するため、今回は CPSS の縮小版の翻訳版¹⁸⁾ を使用することとし、さらに評価者の混乱を避けるため、5つずつの尺度項目から比較的意味の離れていると考えられる修飾語を2つずつ著者らが選択し、新奇な (Novel)、独特な (Unique)、上手な (Skillful)、念入りな (Careful)、意味のある (Makes sense)、妥当な (Relevant) の計6つの尺度項目で評価してもらった。

評価者にははじめに GENTORO 1 で作成された子どもたちの作品のビデオを約1分間鑑賞してもらい、評価対象の作品見る前に、これからどのような作品を評価してもらうのかを説明した。次に、GENTORO 2 の各グループの作品ビデオを2つずつ連続で鑑賞させ、1つのビデオを見終わるごとに、ストーリーの内容と表現について6つの項目を7段階のリッカート尺度で評価するとともに、その理由を自由に記述してもらった。2作品のビデオを鑑賞する順番は無作為に指定した。各グループの作品のテーマは評価用紙に記載され、評価者に示された。ビデオは1作品約2~3分の長さで、10作品のビデオ鑑賞と評価に要した時間は1評価者あたり約60分であった。

6.2.2 評価結果・考察

1回目と2回目の5グループの作品に対する各 CPSS 尺度の平均値のグラフと、標準偏差 (エラーバーに表示) を図18に示す。全尺度において2回目の方が高い平均値を得ていることが確認できた。特に、大きく差が出たのは「上手な」と「念入りな」であった。また、1回目と2回目に関係なく全体として肯定的な評価結果となった。

評価結果の信頼度の導出は、各回の作品数を $N = 5$ 、尺度得点全体の分散を σ_X^2 、各作品の分散の合計を $\sum_{i=1}^N \sigma_{Y_i}^2$ とし、Thang ら¹²⁾ にならい各尺度についての Cronbach の α 係数を次の式で計算した。

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_{Y_i}^2}{\sigma_X^2} \right)$$

各尺度に対応する Cronbach の α 係数は、1回目の作品の「独特な」に関する項目を除き $\alpha \geq 0.7$ の値を得られ (表5)、評価結果に十分な信頼性があることが確認できた。これにより、同一の作品では評価者間で同様な評価傾向があったことが分かる。

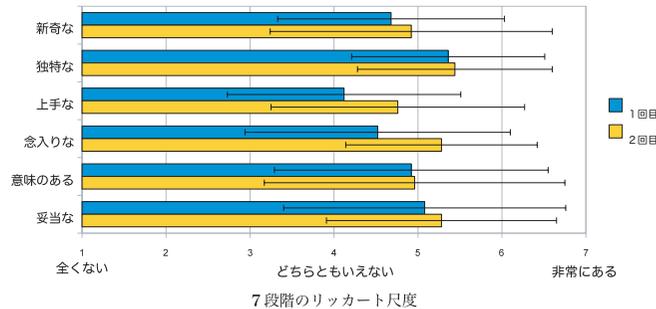


図 18 各 CPSS 尺度の平均値の比較

Fig. 18 Comparisons of average scores on CPSS items.

表 5 各 CPSS 尺度の Cronbach の α 係数
Table 5 Cronbach's alpha on CPSS items.

尺度	1 回目	2 回目
新奇な	0.92	0.84
独特な	0.67	0.70
上手な	0.87	0.97
念入りな	0.92	0.94
意味のある	0.92	0.98
妥当な	0.84	0.82

表 6 各 CPSS 尺度における F 検定結果
Table 6 F-test results on CPSS items.

尺度	検定結果
新奇な	$F(1, 4) = 6.00 (p < .10)$
独特な	$F(1, 4) = 0.62 (p \geq .10)$
上手な	$F(1, 4) = 4.31 (p \geq .10)$
念入りな	$F(1, 4) = 5.69 (p < .10)$
意味のある	$F(1, 4) = 0.03 (p \geq .10)$
妥当な	$F(1, 4) = 1.25 (p \geq .10)$

また、各尺度について、実践の 1 回目と 2 回目を要因として評価結果に有意差が現れたかどうかを、F 検定 (2 要因の分散分析) で調査した (表 6)。その結果、「新奇な」と「念入りな」については、 $p < .10$ の有意傾向があることが確認できたが、十分高い有意水準であるとはいえない。それ以外の要因についての有意差は得られなかった。さらに、Wilcoxon の符号付き順位検定で、各グループの 1 回目と 2 回目の作品について有意差を調査した。結果として、5 作品 \times 6 尺度のうち B グループの「独特な」、C グループの「上手な」、C グループの「念入りな」、E グループの「妥当な」を 4 つを除いて、 $p < .01$ の有意差を示せた。

「新規な」、「独特な」の項目については、ストーリーの表現方法に関する評価理由が多く見られ、特に話の展開、オブジェクトの利用方法、意外な表現手法の利用 (歌唱の挿入) などの理由が多かった。たとえば、6.1.1 項で述べたようなロボットと物理的なオブジェクトを使用した動的なイベントは、子どもたちの創造性を発揮した結果といえる。「上手な」、「念

入りな」の項目については、ストーリー実演の熟練度によるものが評価理由として多くあげられた。したがって、2 回目の方が高得点であったのは、各グループともストーリー実演の回数をより多く経験していることも一因であると考えられる。「意味のある」、「妥当な」については、ストーリー内容のテーマとの一致度やストーリーの論理性を理由にあげている回答が多かった。2 度の GENTORO でのストーリーテリングにより、子どもたちはテーマやストーリーの内容についてより深く考え、表現することができたといえる。

6.3 システムの問題点のまとめ

GENTORO のデザインプロセスおよび評価実験によって、これまでに明らかになったシステムの改善すべき点は以下のとおりである。

- 子どもの身長によって投影画面の大きさが変化する。
- ロボットの動きがストーリーの進行に対して遅い場面が多かった。
- ロボット非認識時の表示が適切でない。
- シーン画像の部分修正ができない。
- ロボットが道に沿って進む以外の動作を設定できない。
- 実験者と教師の支援なしで学習者だけでシステムを利用することができない。

紙とマジックペンによるシーン作成は、誰でもすぐに取り組み始める反面、その修正を後から行うのは困難である。したがって、投影した画像を確認しつつ試行錯誤しながらシーンの修正を行うような使い方はできない。また、アニメーションなどを取り入れることも難しいと考えられる。GENTORO の利用方法を再検討しながら、今後どちらを採用するかを再考すべきである。

視覚的にロボットの移動方向を道として表示することで、子どもたちはロボットを容易に操作できる。一方、ロボットのシーン中での停止や後退、停止した場面の演出、道のない位置での操作、道の上以外の位置への移動などができないという問題も生じる。これらのシステム上の問題についても、今後検討、改良を行っていく必要があると考えている。

7. まとめと今後の展開

本研究では小学生を対象としたストーリーテリングシステム GENTORO を提案し、そのデザインプロセスと評価実験についての議論を行った。評価実験と CPSS による作品の評価結果から、GENTORO により子どもたちの創造的かつ協調的なストーリーテリングが支援できること、ならびに子どもたちのストーリーテリングに対する動機付けが高められることが示唆された。

パイロットスタディに基づく改良により、現バージョンの GENTORO 2 では従来のシステムの問題点が改善されたが、6.3 節であげた問題点もまだ残されている。さらに、現バージョンの GENTORO では図 2 で示したイベント設定の機能をまだ実現していない。システムの機能のさらなる改良を目指して、今後検討を進めたいと考えている。

GENTORO 2 の評価実験は、主として子どもたちの行動観察に基づいて行われた。提案システムは、ストーリーテリングによる学習支援への効果も考えられるが、現時点でその効果を客観的に示すことは難しいと著者らは考えている。将来的な方向としては、学校教育の現場での長期的な評価実験ならびに教育学の専門家の意見をもとに、小中学校の教科目(国語や英語など)の教材としての利用も視野に入れている。

謝辞 本研究の評価実験にあたり、千葉県柏市西原小学校ならびに神戸大学附属住吉小学校藤本雅司教諭、山本智行教諭の協力を受けた。本研究は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「情報爆発時代に向けた新しい IT 基盤技術の研究」の支援を受けた。

参 考 文 献

- 1) Bayon, V., Wilson, J.R., Stanton, D. and Boltman, A.: Mixed reality storytelling environments, *Virtual Reality*, Vol.7, No.1, pp.54-63 (2003).
- 2) Besemer, S.P. and O'Quinn, K.: Using the creative product semantic scale as a metric for results-oriented business, *Creativity and Innovation Management*, Vol.15, No.1, pp.34-44 (2006).
- 3) Bobick, A.F., Intille, S.S., Davis, J.W., Baird, F., Pinhanez, C.S., Campbell, L.W., Ivanov, Y.A., Schutte, A. and Wilson, A.: The KidsRoom: A perceptually-based interactive and immersive story environment, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.8, No.4, pp.369-393 (1999).
- 4) Druin, A., Montemayor, J., Hendler, J., McAlister, B., Boltman, A., Fiterman, E., Plaisant, A., Kruskal, A., Olsen, H., Revett, I., Schwenn, T.P., Sumida, L. and Wagner, R.: Designing PETS: A personal electronic teller of stories, *Proc. CHI '99*, Pittsburgh, PA, pp.326-329 (1999).
- 5) Garzotto, F. and Forfori, M.: FaTe2: Storytelling edutainment experiences in 2D and 3D collaborative spaces, *Proc. IDC 2006*, Tampere, Finland, pp.113-116 (2006).
- 6) Hourcade, J.P., Bederson, B.B., Druin, A. and Taxen, G.: KidPad: Collaborative storytelling for children, *Proc. CHI '02 Extended Abstracts*, Minneapolis, WI, pp.500-501 (2002).
- 7) Howland, K., Good, J. and Robertson, J.: A Learner-Centered Design Approach to Developing a Visual Language for Interactive Storytelling, *Proc. IDC 2007*, Aalborg, Denmark, pp.45-52 (2007).
- 8) Ito, T., Nguyen, G.T. and Sugimoto, M.: A storytelling support system using robots and handheld projectors, *Proc. IDC 2008*, Chicago, IL (2008).
- 9) Montemayor, Druin, A., Chipman, G., Farber, A. and Guha, M.L.: Tools for children to create physical interactive storyRooms, *Computers in Entertainment (CIE)*, Vol.2, No.1, pp.1-24 (2004).
- 10) Raffle, H., Vaucelle, C., Wang, R. and Ishii, H.: Jabberstamp: Embedding sound and voice in traditional drawings, *Proc. IDC 2007*, Aalborg, Denmark, pp.137-144 (2007).
- 11) Ryokai, K. and Cassel, J.: StoryMat: A play space with narrative memories, *Proc. CHI '99*, Pittsburgh, PA, pp.272-273 (1999).
- 12) Thang, B., Sluis-Thiescheffer, W. and Vermeeren, A.: Comparing the creativity of children's design solutions based on expert assessment, *Proc. IDC 2008*, Chicago, Illinois, pp.266-273 (2008).
- 13) Umaschi, M.: Soft toys with computer hearts: building personal storytelling environment, *Proc. CHI '97 Extended Abstracts*, Atlanta, Georgia, pp.20-21 (1997).
- 14) White, A. and Smith, B.L.: Assessing advertising creativity using the creative product semantic scale, *Journal of Advertising Research*, Vol.41, No.6, pp.27-34 (2001).
- 15) Wright, A.: *Creating stories with children*, Oxford University Press, Oxford, UK (1997).
- 16) 神田崇行: コミュニケーションロボットによる学習支援, 人工知能学会論文誌, Vol.23, No.2, pp.229-236 (2008).
- 17) 細井一弘, ダオ・ヴィン・ニン, 森 晶洋, 杉本雅則: CoGAME: ハンドヘルドプロジェクタを用いたロボットナビゲーションゲームの試作, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.3, pp.285-294 (2007).
- 18) 吉田 靖, 服部雅史: アイデア探索空間モデルによる創造性とその下位概念の分析, 基礎心理学研究, Vol.24, No.2, pp.181-190 (2006).

(平成 21 年 3 月 21 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)



伊藤 俊廷

2007 年横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。現在、東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻修士課程に在学中。ヒューマンコンピュータインタラクション、ユビキタスコンピューティングの分野に興味を持つ。



ゲン トウン ゴク

2003年より国費奨学金を受け日本へ留学。2008年東京大学工学部電子情報工学科卒業。現在、東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻修士課程に在学中。ヒューマンコンピュータインタフェース，教育支援システム，インタラクション技術，情報推薦システムに関する研究に興味を持つ。



杉本 雅則 (正会員)

1990年東京大学工学部航空学科(宇宙工学専修)卒業。1995年同大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。同年より文部省大学共同利用機関学術情報センター(現、国立情報学研究所)研究開発部助手。1997年コロラド大学計算機科学科にて客員研究員。1999年より東京大学情報基盤センター助教授。2002年より同大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻助教授となり、工学部電子情報工学科を兼任。2008年より同大学大学院工学系研究科電気系工学専攻准教授となり、現在に至る。ヒューマンコンピュータインタラクション，特に複合現実感，モバイルコンピューティング，ユビキタスコンピューティング等の研究に興味を持っている。



稲垣 成哲

1983年広島大学大学院教育学研究科博士課程前期修了。横浜国立大学教育学部助手，山口大学教育学部講師，神戸大学発達科学部講師，同助教授を経て，現在，神戸大学大学院人間発達環境学研究科教授。主に，科学教育におけるコンピュータを利用した学習支援の研究に従事。日本科学教育学会，日本理科教育学会各会員。