



双子のサンタクロース

Twin Santa Clauses

小濱 誠樹, 山田 暁生, 北川 大智, 鹿野 滉人, 竹島 光一, 大谷 駿介
Masaki KOHAMA, Kosei YAMADA, Daichi KITAGAWA,
Hiroto KANO, Koichi TAKESHIMA, and Shunsuke OTANI

工学院大学 VR プロジェクト (〒192-0015 東京都八王子市中野町 2665-1, vrproject@cc.kogakuin.ac.jp)

概要: サンタクロースは、一人で、たった一晩で世界中の子どもたちにプレゼントを配る。そのためには超高速で家々を巡らなければならない。その速さを見積もると、もはや亜光速である。亜光速では、相対性理論の世界が現出する。サンタクロースは、視野が収縮（ローレンツ収縮）し、ドップラー効果で色が変わった世界の中でそりを駆るのである。これは困難を極める。ならば、航行をサポートするナビゲータが必要である。だが、亜光速で動く彼らは、互いに時間が遅れる。この効果に対応するのにも一筋縄ではいかない。相対論的效果が現れた世界、すなわち奇妙な視界と時間の遅れの中で、二人三脚でプレゼントを配るのが、本作品で体験者に与えられたミッションである。亜光速の世界をエンタテインメントとして体験することが、本企画の狙いであり、特徴である。

キーワード: サンタクロース, 相対性理論, 時間の遅れ, 亜光速体験

1. 企画の概要

12 月 24 日の晩、サンタクロースはその一晩で、世界中の子どもたちにプレゼントを配る。このサンタクロースが一人の老人であるならば、とてつもない速さで世界を駆け巡っていることになる。その速さは、遅く見積もっても音速の 3000 倍、およそ秒速千キロメートルであるという[1]。これで「遅い」見積もりであるから、およそ秒速三十万キロメートルの光速に迫っている可能性も否めない。

本企画では、体験者は、超高速、すなわち亜光速でそりを駆り、プレゼントを配るサンタクロースになる。そこには相対性理論が説明する、亜光速の世界が現出する。この亜光速の世界の光景は、光速に比べて十分に遅い日常を送るわたしたちの常識を超えており、その中で自力でそりを駆るのは困難と推測される。ならば協力者：ナビゲータがいるに違いない。このナビゲータを、相対性理論の「双子のパラドックス」になぞらえて「サンタクロースの双子」としよう。プレゼントを配るサンタクロースは、ナビゲータのサンタクロースに導かれてクリスマス夜の夜を駆る。だが話は簡単ではなく、亜光速で（相対的に）運動する 2 つの系では、相対性理論によれば互いに時間が遅れる。これも考慮してナビゲートしなければならない。

本企画では、相対性理論が教える亜光速の世界を VR で描き出す。体験者は双子のサンタクロースとなり、亜光速の世界の中で二人三脚でプレゼントを配る、エンタテインメント作品である。

2. 相対性理論とその世界

相対性理論は、1905 年にアルベルト・アインシュタインが発表した論文[2]から始まっている。ここでは、次の 2 つが原理として示された。

- 複数の等速直線運動をする慣性系群について、両者に互いに区別はなく、対等・等価な存在であること
- 光速度は物理定数として、あらゆる観測者（慣性系）からの観測に対して不変の定数であること

この原理から、亜光速の世界では、わたしたちの日常からは世界の見え方が大きく異なることが示された。

まず、ものの見え方。亜光速で動くと、音波の場合と同じように、ドップラー効果が生じる。近づいてくる物体からの光は波長が短く受け取られ、青みを帯びる（青方偏移）。逆に、遠ざかる物体からの光は波長が長く受け取られ、赤みを帯びる（赤方偏移）。それから視界。光の速さが一定であるから、物体は進行方向に縮む（ローレンツ収縮）。視野が進行方向に圧縮される。きわめて速い状況だと、背後にあるものも前方に見えるようになり、

後方は暗黒になる*1。

それから時間、亜光速で（互いに）移動する複数の慣性系の間では、互いに時間が遅れる*2。

3. 双子のサンタクロース

本作品は、1 節で述べたように、サンタクロースになって、プレゼントを子どもたちに届ける VR コンテンツである。プレゼントを配るサンタクロースは亜光速のそりを駆る。すると相対論的效果でその視界はわたしたちの常識からかけ離れ、いわば異様なものとなる、そりを適切に航行させるのは難しい。そこで、「サンタクロースの家」から、その双子が、プレゼントを配るサンタクロースをナビゲートする。ここで、双子は互いに亜光速で運動しているから、そこにも「時間の遅れ」という相対論的效果が現れる。この相対論的效果が現れた世界をエンタテインメントとして体験するのが本作品の特徴である。同時に 2 人が体験し、一方はプレゼントを配るサンタクロース、もう一方はナビゲートするサンタクロースに扮する、協力型コンテンツである（図 1）。



図 1 双子のサンタクロースが協力してプレゼントを配る

3.1. 体験の概要

前述したように、本作品では、体験者は 2 人一組で、子どもたちにプレゼントを配るミッションを遂行する。

プレゼントを配るサンタクロース（サンタ A）は、そりを駆り、上空からプレゼントを配る。サンタ A の道中にはプレゼントを落下させるスポットがあり、ここを通過することで子どもにプレゼントが配られる。双子のサンタクロースは、一定時間内に、多く、正確にプレゼントを配ることが要求される。

サンタ A は亜光速で移動するため、異様な視界の中で航行することになる。見える風景もそうであるが、プレ

ゼント落下スポットも容易には視認できない。それをナビゲートするのが双子のもう一方であるサンタ B である。サンタ B には、図 2 のようにサンタ A が通るべきコースがわかっており、それをサンタ A に音声で伝える。ここでも、サンタ A と B の相対速度が亜光速であることに起因する相対論的效果のため、互いの時間が遅れる。双子のサンタクロースは、通信を通じて相対論的效果の現れを把握し、これを考慮に入れて協力する。すなわち、サンタ B は時間の遅れを考慮したナビゲーションが要求される。

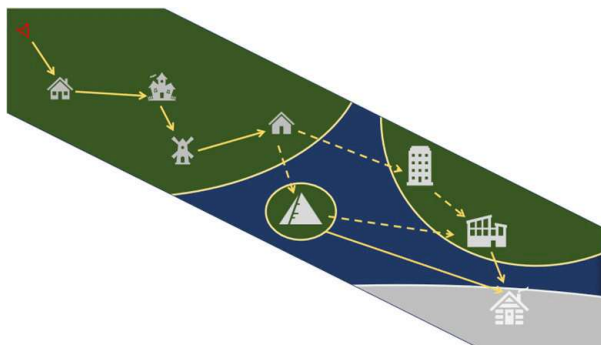


図 2 ナビゲータであるサンタ B がそりを駆るサンタ A を導くための俯瞰映像のイメージ

3.2. 体験の詳細

本作品は 2 人一組で協力し、一定時間内にプレゼントを配ることによるスコアを競うコンテンツである。

サンタ A となる体験者は、そりを操縦する。そりは、手綱を引くことで加減速と左右移動をさせられる。亜光速に起因する異様な視界の中、サンタ B のナビゲーションでプレゼント落下スポットを通過していく。ここで、超高速でプレゼントを落とすと、あらぬ場所に落下したり破損したりしてしまうかもしれない。したがって、プレゼント落下スポットでは減速が必要である。すなわち、プレゼント落下スポットは、正確にかつ低速で通過すると高得点となる。

サンタ B となる体験者は、図 2 のような画面を見ながらサンタ A を音声通信でナビゲートする。ここで、相対論的效果による時間の遅れで、互いの音声は遅れる。遅れの程度は速度による。したがって、双子のサンタクロースは密に通信し、遅れの程度を把握した上で、サンタ B はサンタ A を導かなくてはならない。

ここで、サンタ A が終始低速で航行すれば相対論的效果は小さいから、視野も通信も通常時に近く、そりの操縦は容易で、プレゼントも配りやすくなる。しかし、制限時間内に配れるプレゼントの数は少なくなり、高得点は望めない。かといって、相対論的效果を「自分たちのものにして」終始高速で航行した場合、プレゼントは多く配れるが、プレゼント落下スポットを高速に通過してしまうためスコアはそれほど高くない。すなわち、サンタ A はスポット間では高速に航行し、スポット前後

*1 たとえば、光の速さが時速 20 キロメートルになったときの視覚の相対論的效果を体験できる VR 映像が制作されている[3]（ウェブサイトは[4]）。相対論的視覚効果を学習できるゲームも開発されている[5]。ウェブ上の相対性理論シミュレータ（ウェブページ[6-8]など）も参考になる。

*2 相対性理論についての一般向け解説書としては、書籍[9-13]などがある。解説動画は、たとえばウェブページ[14]がある。

では急減速急加速をしてプレゼントを配っていくことが
高得点の秘訣となる。

4. 装置の概要

本作品においてサンタ A に扮する体験者（体験者 A）側の装置の概略図を図 3 に示す。

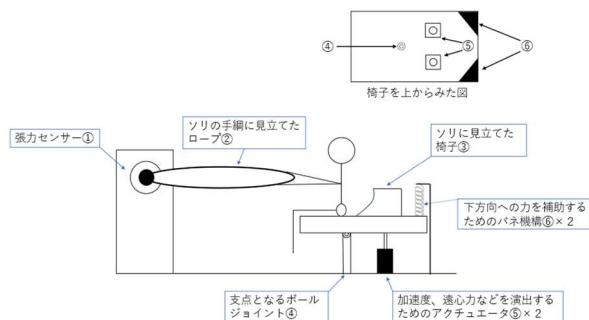


図3 体験者（サンタ A 側）の装置概略図

体験者Aはそりを模した装置に備え付けられた椅子に座って体験する。ヘッドマウントディスプレイ（HMD）とインカムを装着し、手綱を握る。

そりは亜光速で航行するため、HMD からは 2 節で述べた相対論的効果で演出されたクリスマスツリーの景色が提示される。

そりは手綱を引いて操縦する。右に引けば右に、左に引けば左に、そりは進む。また、両方同時に引けばそりは減速する（逆に、手綱を引かなければそりは限界速度まで加速していく）。手綱の引かれ方は張力（荷重）センサで計測する。

加減速と遠心力の演出にはアクチュエータを使う。椅子を前に傾かせて加速を、左右に傾かせて遠心力を表現する。

サンタ B に扮する体験者（体験者 B）は、インカムを装着し、卓上のディスプレイの前に座る。図 2 のような画面が提示されるので、体験者 A に対して、相対論的効果を考慮しながらプレゼント落下ポイントに導いていく。

5. システムの構成

本作品のシステム構成図を図4に示す。

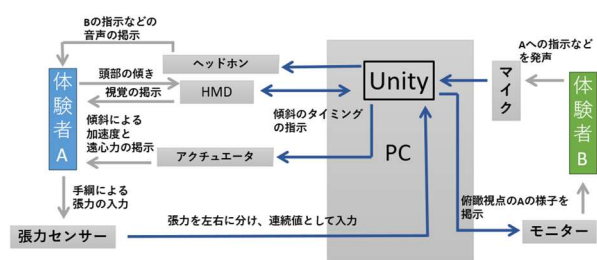


図4 「双子のサンタクロース」システム構成図

開発には Unity を用いる。映像は体験者 A の HMD と、体験者 B のディスプレイに提示する。このとき、体験者 A の映像はそりの速度に応じた相対論的効果の演出を加える。

体験者 A のそりの操縦は、手綱の引かれ方を張力（荷重）センサで計測し、Arduino マイコンを経て PC に入力する。加速、遠心力の効果は、PC から Arduino マイコンを経てアクチュエータを制御して実現する。

体験者 A と B は、それぞれのインカムで互いに音声通話をする。このとき、体験者 A のそのりの速度に応じた相対論的効果（時間の遅れ）の加工をして相手方に提示する。

6. 体験プラン

本作品は、まずサンタ B として、次いでサンタ A として 2 回一セットで体験することを想定している。まず、サンタ B として、音声の相対論的効果を体験してもらい、体験者 A をナビゲートする。そのあと、サンタ A としてそりを駆り、相対論的な視界を体験しながらプレゼントを配る。

前述したように、体験者 A が低速航行すれば難易度は下がるが高得点は狙えない。高得点のためには、相対論的効果を体で覚えさせた上で、体験者 B に導かれつつ、急な加減速を含めた巧みな手綱さばきをすることが要求される。

本作品はスコアアタックであるので、実演当日はスコアランキングボードを用意し、高得点者を顕彰する。腕利きのサンタクロースとして名を残していただきたい。

7. 本作品の特長

本作品の最大の特長は、わたしたちが通常生活している世界の常識からかけ離れた亜光速、すなわち相対性理論の効果が現出する世界を、エンタテインメントとして体験できることである。わたしたちの世界の臨界点を記述する物理学を視覚・聴覚で体験していただきたい。

参考文献

- [1] The Physics of Santa Claus, <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2015/12/20/the-physics-of-santa-claus/> (2025.07.10 閲覧)
- [2] A. Einstein: Zur Elektrodynamik bewegter Körper, Annalen Der Physik, Vol. 322, No. 10, pp. 891–921, 1905
- [3] K. Van Acoleyen and J. Van Doorsselaere: Captain Einstein: a VR Experience of Relativity, arXiv:1806.11085, 2018
- [4] Captain Einstein – Original boat tours since 1905, <http://captaineinstein.org/> (2025.07.10 閲覧)
- [5] A Slower Speed of Light – MIT Game Lab, <https://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed->

- of-light/ (2025.07.10 閲覧)
- [6] 特殊相対論シミュレーション | Special relativity simulator: City , <https://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~norihiro.tanahashi/webgl/city/> (2025.07.10 閲覧)
- [7] 特殊相対論シミュレーション | Special relativity simulator: Railway , <https://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~norihiro.tanahashi/webgl/railway/> (2025.07.10 閲覧)
- [8] 相 対 性 理 論 - Javalab , https://javalab.org/ja/category/measure_ja/relativity_ja/ (2025.07.10 閲覧)
- [9] 小林:NHK 3 か月でマスターするアインシュタイン, NHK 出版, 2025
- [10] 佐藤:みるみる理解できる相対性理論:特殊相対論も一般相対論も実はむずかしくなかった!, ニュートンプレス, 2005
- [11] 福江:「超」入門相対性理論:アインシュタインは何を考えたのか, 講談社, 2019
- [12] 竹内:高校数学でわかる相対性理論:特殊相対論の完全理解を目指して, 講談社, 2013
- [13] 石井:一般相対性理論を一步一步数式で理解する, ベレ出版, 2017
- [14] 聞いたことあるけどよく知らない「相対性理論」【全 6 本】 | NHK ラーニング , <https://www2.nhk.or.jp/learning/playlist/item/?plid=pl0032> (2025.07.10 閲覧)