

クリエイター支援を目的とした メイキング閲覧ツールの開発

三末 和男^{1,a)} 木幡 有紀乃¹

概要:ここで言う「メイキング」とは、作品の制作過程を整理して閲覧できる形にした教材のことである。クリエイターたちは作品制作の技術を学ぶためにメイキングを閲覧することが多い。本論文では2Dイラストのメイキングを対象とする。2Dイラストのメイキングの表現形式は様々であるが、イラスト投稿サイトや書籍に記事として掲載されたものや、動画共有サービスに動画で投稿されたものが多い。いずれも長短がある。イラストのメイキングは、そのデータに着目すると時空間データとして捉えることができる。筆者らは、イラストのメイキングを制作過程で発生したイベントからなる時空間データとして捉え、メイキングの閲覧を効率化するツールを開発した。開発したツールは、イベントを俯瞰できること、時空間データを空間で切り取ってそこに含まれるイベントに着目できるようにすることを特徴としている。評価実験により開発したツールの有効性も示される。

1. はじめに

作品の制作過程を整理して閲覧できる形にした教材を「メイキング」と呼ぶ。本研究の目的は、メイキングの閲覧を効率化して、クリエイターを支援することである。メイキングが作られる分野はイラスト、映像作品、音楽、3Dモデリングなど様々であるが、本論文では2Dイラストのメイキングに焦点を合わせる。

メイキングの提供方式は、大きく「記事方式」と「動画方式」の2種類に分られる。記事方式は、作品の制作過程の要所要所を記録した複数の静止画に説明文を添えるものである。動画方式は、作品の制作過程を動画で記録したものである。作品がPC上で制作される場合には、制作時のディスプレイへの表示を動画形式でキャプチャーしたものが利用される。ほとんどの場合、カットや早送りなどの編集が施され、実際の制作時間よりも短い動画としてまとめられる。さらに、要点を説明するためのコメントを制作者が加えることもある。

「メイキング」という教材に求められる要件としては、以下の2点が挙げられる。

- (1) 情報の緻密さ (知りたいことが分かるか)
- (2) 閲覧効率 (知りたいことをすばやく知ることができるか)

しかしながら、記事方式は緻密さに、動画方式には閲覧効

率に課題がある。

記事方式では静止画を利用するため、雑誌や書籍などの紙媒体でも提供できる。ただし、制作過程を詳細に表現しようとすると、多くの静止画が必要となる。制作過程を説明する静止画をメイキングの制作者が選択するが、メイキングの利用者からすると見たいシーンが掲載されていないこともある。そのようなメイキングは利用者にとってはあまり役に立たない。

動画方式では基本的には制作の開始時点から完成時点までの様子が動画で一通り記録されている。シーン選択に関しては、記事方式と比べてメイキング制作者の負担が少ない。そして、大幅なカットが施されていない限りは利用者の求めるシーンが含まれている可能性が高い。また、制作過程を動画で見ることができるため、記事方式よりも制作の様子がわかりやすいと言える。ただし、ほとんどの場合、動画に早送り編集が施されているため、利用者があるシーンを探し出す場合、非常に細かいシークバーの操作が要求される。また、特定の部分の制作に複数回の作業が行われていても、それらの作業が時間的に近接して行われているとは限らないため、注目したい部分が空間的には局所的であるにも関わらず、時間的には広範囲に渡って細かな探索を行わなければならないという事態が起こりうる。

イラストのメイキングはそのデータに着目すると時空間データとして捉えることができる。時空間データの表現手法には様々な方式が提案されている。代表的な方式としては、時間軸に直交する断面を平面上に配置するもの (Small

¹ 筑波大学

University of Tsukuba

^{a)} misue@cs.tsukuba.ac.jp

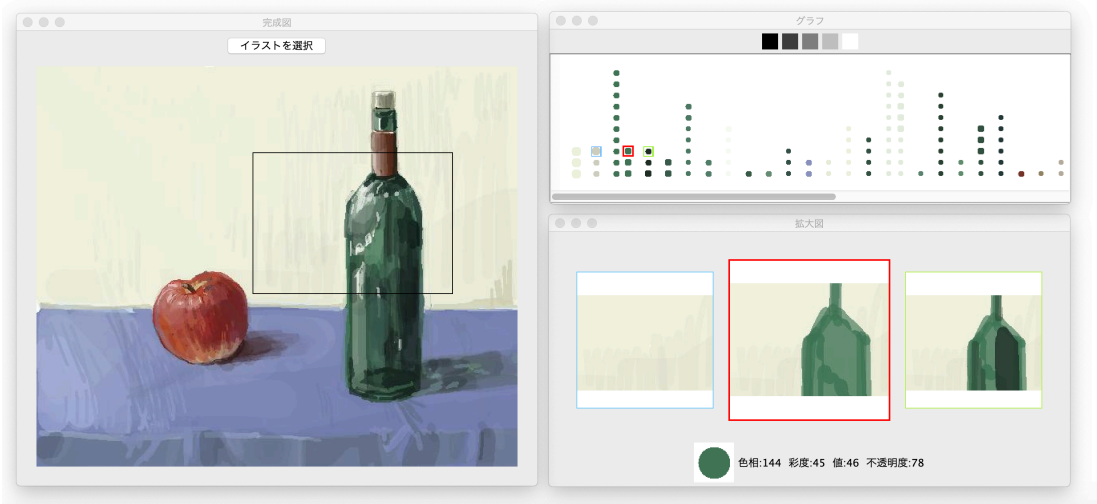


図 1 開発した閲覧ツールの概観
(左: 完成図ビュー, 右上: イベントグラフビュー, 右下: 拡大図ビュー)

multiple), 時間軸に直交する断面を第 3 の次元上に重ねて配置するもの (2.5D 表現), データの時間軸を表現空間の時間軸に対応付けるもの (アニメーション表現) などがある [1]. 記事方式は, 時間軸での断面を平面上に列挙したものと考えることができる. また動画方式はデータの時間軸を表現空間の時間軸に対応づけたアニメーション表現と考えることができる.メイキングを時空間データとして捉え, その表現手法を変えることで, 異なる特徴を備えた閲覧方法を提供できる.

本論文では, イラストのメイキングを制作過程で発生したイベントからなる時空間データとして捉える. そして, メイキングの閲覧を効率化するために開発したツール (図 1) を紹介する. さらに, その方式の有効性を検証するためにに行った評価実験について報告する. 開発したツールは, イベントを俯瞰できること, 時空間データを空間で切り取ってそこに含まれるイベントに着目できることを特徴とする.

2. 関連研究

本研究は, イラスト学習者支援という観点と, 時刻データや時空間データの可視化手法という観点を備える.

2.1 イラスト学習者支援

イラストまたはデッサンの学習を支援するために, 手本との差異を検出するシステムの研究が多数行われている. 高木ら [2] は, 全体の比率・部分的な比率・陰影に関して学習者が作成したデッサン画とデッサン対象物との比較を行い, その相違を検出するシステムを開発した. 曾我ら [3] はそのシステムを利用し, 完成したデッサンに対する評価を行うのではなく, デッサン描画中にアドバイスを行うことで, 学習者のモチベーションを保ったまま上達を補助す

る方式を提案した. Dixon [4] らは, 人物写真から顔の特徴をモデル化した手本を生成し, 実際に行われたスケッチとの比較・学習者へのフィードバックを行うアルゴリズムを開発した. 鈴木ら [5] は, 力学装置を用いて学習者の動きを制御し, 手本どおりの線を引けるよう誘導する方式を提案した. Geomagic Touch を用いて, 手本の通りに線を描画できるよう誘導する力と, 手本からはみ出した時に元に戻す力を学習者に与えることでその機能を実現している. 参考にするモデルや手本, パース等を提案することで描画補助を行うシステムも研究されている. 井上ら [6] は, AR 技術によってデッサン人形を表示する機能を実装している. AR 技術を用いることでデッサン人形を紙面上に表示できるため, 正確に人物画のアタリをとることが可能となる.

また, コンピュータ側が手本を提示するのではなく, 学習者が描きたい線や描きたいものを推測し, 手がかりを提示するようなイラスト学習者支援システムの研究も存在する. 学習者が描画したものから推測した完成形を提示するため, 学習者の発想を生かして描画支援を行うことができる. 新納ら [7] は, 複数回の重ね描きや描き直しをすると, ストロークの候補として学習者に提示するシステムを実装した. 学習者に理想のイメージがあっても描画の際に線がぶれてしまうという知見を利用し, 複数入力された線を平均化することでその機能を実現した. また川連らは, 学習者が棒人間を描画すると, Deep Learning によってそのポーズを推測し, 対応する 3D モデルに変換したものを表示するシステム, Illustpose [8] を提案した. システムからの提案によってではなく, 学習者の認知に影響を与えることでイラストの上達を促すアプローチをとった研究も存在する. 高橋ら [9] は, イラストを部分的に遮蔽して表示することで学習者が自分の絵を客観的に認知し, ミスを気づかせやすくする方式の有効性を示した. 手本と比較するこ

とで正しい作画に導くのではなく、学習者自身の感性からイラストの違和感に気づくような方式になっている。

イラスト学習者の支援については様々な先行研究が存在するが、本研究では手本の描画過程をより効率よく閲覧できるようにすることで学習の補助をするというアプローチをとっており、これらの研究とは異なっている。

2.2 時刻データや時空間データおよび可視化

時刻データの可視化手法には棒グラフや折れ線グラフなど日常的に広く利用されているものも多い。三末による解説記事 [10] にはそのような古典的な手法から比較的新しい手法まで主要な手法が紹介されている。棒グラフや折れ線グラフは時間とともに変化する量的データの表現に用いられるが、イベントの発生だけに注目するとストリップチャート (1次元散布図) で用が足りる。しかしながら、空白時間や疎な時間帯が多いデータに対しては、ストリップチャートによる視覚的表現はあまり有用でない。時刻データは量的データとして扱われることが多いが、対象データによってはイベントなどの発生順序だけに関心が寄せられることも少なくない。そのような場合には、順序データとして捉えることもできる。Chromograms[11] は、イベントの順序だけに着目した表現手法で、分類された大量のイベントを一度に表現することができる。

時空間データの可視化手法に関しては伊藤による解説記事 [1] や Bach らによるサーベイ論文 [12] がある。Bach らによるサーベイは、様々な可視化手法を時空間 (space-time cube) の切り取り方およびその表現の仕方によって整理している。2次元の表現空間を利用する代表的な方式としては、Small multiples [13] やアニメーションがある。

Bach らの指摘にも関連するが、時間軸に直交する断面を平面上に配置する方式を「Small multiple」と呼ぶことは必ずしも正確ではない。Small multiples は同じ表現形式の視覚的表現を複数配置したものであり、時空間データに特化した方式ではない。ましてや時間軸に直交する断面の配置だけに用いられるものでもない。

記事方式は Bach らの用語では「時間並置 (time juxtaposing)」の一種と言える。より精密には「(time cutting + space scaling + space shifting)*」と書くことができよう。

静的あるいは準静的な表現で密な時空間データを閲覧するために、Chiba らは時空間の切り取り方を工夫している [14], [15]。平面を格子状に分割し、その格子を時間軸に沿って動かすことで時空間を分割するような操作を用いる。時間並列の時空間の切り方と Chiba らによる時空間の切り方の違いを図 2 に示す。時空間の一部を時間軸と平行な立体で切り取る手法は Bach らによって「Time Drilling」と名付けられているが、Time Drilling は平面上の 1 点に関して時間軸に平行に取り出すような操作であり、Chiba らの切り方は、Time Drilling とは異なるものと言える。

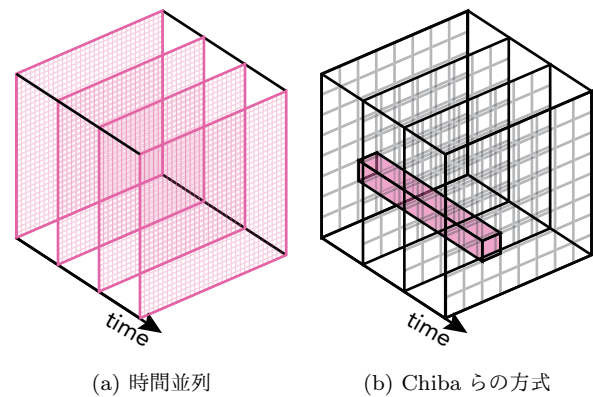


図 2 時空間の切り方の違い

3. メイキング閲覧ツールの設計

メイキングに求められる要件 (セクション 1 参照) に対して、以下のような設計方針を立てた。まず、情報の緻密さに関しては、制作過程をすべて記録して見せられるようにする。そして、閲覧効率のためには、

- 制作過程を俯瞰できる
- 知りたい部分を効率的に探せる

の 2 点について、時空間データの視覚的表現として工夫することにした。

3.1 描画作業の基本単位

描画作業の基本単位を「イベント」と呼ぶことにする。ペン*1を画面につけて離すまでに描かれた連続的な線を「ストローク」と呼ぶ。プロトタイプでは、ひとつのストロークがひとつのイベントを構成する。広く使われている描画ツールでは他にも様々な操作が可能であり、それらもイベントを構成することになるが、今回設計したプロトタイプでは、単純化のためにストロークだけをイベントとした。

ストロークは「ペン」ツールで生成され、描かれた線は点列で表現される。ペンは色と太さを属性として備える。したがって、ひとつのストロークは色、太さ、点列で表される。ストロークは生成された順序とともに記録される。

ストロークが点列 (2次元座標列) を備えることから、描画作業は空間データであり、発生順序も記録されていることから、時空間データと言える。ここでは時刻を間隔尺度ではなく、順序尺度のデータとして扱っている。ひとつのストロークは瞬間的に生成されたものとみなし、生成間隔の長短も気にしない。

3.2 描画作業の俯瞰

制作過程を俯瞰できるようにするために、イベントをすべて視覚的に表示することにした。個々のストロークを、形状とスケールを保存して発生順に並べる、形状だけを保存して発生順にならべるなどを検討したが、空間効率や視

*1 環境によってはマウスによる操作で代用する

認性を考慮して、ひとつのストロークをペンの断面として表示することにした。つまり、太さと色を反映した点（小円）を時間順に並べることで、イベントの列を表す。

イベントを列挙するにあたり、イベントのグループを考慮することにした。イベントの系列で表される描画操作は、制作者にしてみると意味のあるまとまりに分けられるはずである。イベントをグループに分ける方式としては時間間隔を参照してクラスタリングを行う等の方式が考えられるが、ここでは、色に着目して、おなじ色のストロークがひとつのイベントグループを構成するとした。

描画作業の俯瞰としては、一連のイベントと、それらが構成するイベントグループが見えるように、イベントを表す小円を2次元的に配置することにした。左から右に向かって時間順にイベントグループを配置し、イベントグループ内では下から上にイベントを積み上げて表す。これにより、時系列データを表す棒グラフのような表現が得られる（図1右上部分参照）。

3.3 空間をキーとする絞り込み

学習者がメイキングを閲覧する際に、ある物を描いている部分やある箇所を描いている部分を詳細に見たいというように、メイキングのある一部に関心を寄せることも多い。その一部分をメイキングから探索するにあたり、記事方式や動画方式で利用できるキーは時間軸である。つまり時間軸に沿って、「ある物」や「ある箇所」が描かれているメイキング内のある部分を探すことになる。その一方で、「ある物」や「ある箇所」という指示を近似できるキーとしては空間的領域が考えられる。そこで、完成図上の空間的領域を指定することで、図2(b)のように、その領域で発生したイベントだけに絞り込んで俯瞰できる機能を用意することにした。

4. 描画ツールの開発

設計したメイキングの閲覧ツールを実現するためには、イラスト制作中に発生したイベントのデータが必要である。そこで、イラスト制作中のイベントを記録するために、描画ツールを開発した（図3参照）。開発した描画ツールは、イベントデータとして、ストロークの軌跡（2次元座標列）、ペンの色（色相、彩度、明度、透明度）、ペンの太さを記録する。また、描画途中のイラストの画像データをイベント毎に保存する。

開発した描画ツールは、高度な機能は備えていないが、ペイントツールとしての基本的な機能は備えている。本論文の図中に表示されているイラストはすべてこのツールで描いたものである。

5. 閲覧ツールの開発

図1に開発した閲覧ツールの概観を示す。閲覧ツールの

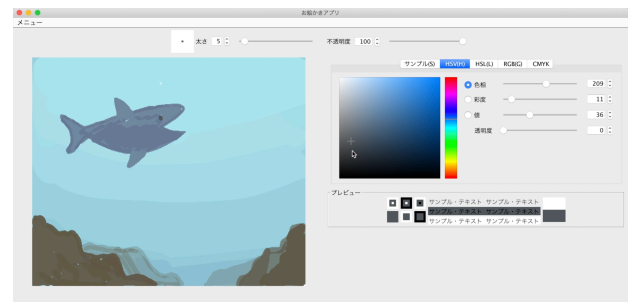


図3 開発した描画ツールの概観

画面は大きく3つの部分に分かれており、左側のウィンドウが「完成図ビュー」、右上のウィンドウが「イベントグラフビュー」、右下のウィンドウが「拡大図ビュー」である。

5.1 完成図ビュー

完成図ビューには完成したイラストが表示されており、マウスドラッグにより部分領域を選択できる。そして、選択された矩形領域内で発生したイベントのみを閲覧できる。イベントグラフビューと拡大図ビューでの操作は完成図ビューで領域指定を行った後可能となる。ただし、完成図ビュー上での操作はいつでもやりなおすことができる。つまりある領域のメイキングを閲覧している途中でも、完成図ビューで新たな領域を指定することで、いつでも着目したい領域を切り替えることができる。

5.2 イベントグラフビュー

イベントグラフビューには、完成図ビューで指定された領域内で発生したイベントが、点（小円）で構成されるグラフ（「イベントグラフ」と呼ぶ）によって表現される。1つの点が1つのイベント（つまりストローク）を表しており、その色はペンの色、大きさはペンの太さを表している。学習者はこのイベントグラフビューを操作することでイベントを選択することができ、赤枠で囲まれた点は現在選択されているイベント、緑枠で囲まれた点はその次のイベント、青枠で囲まれた点は前のイベントを表す。ビューの上方に並んだ5つの長方形は背景色を選択するためのボタンである。イベントグラフビューは点の色によっては背景にまぎれて見難くなるため、背景色を変更できるようにした。

5.3 拡大図ビュー

拡大図ビューはイベントグラフビューと連動し、選択されたイベントとその前後のイベントが発生した直後のイラストの様子を、指定領域だけ抜き出して表示する。中央の赤枠で囲まれた部分はイベントグラフビューで現在選択中のイベント、左側の青枠で囲まれた部分は前のイベントに、右の緑枠で囲まれた部分は次のイベントに対応している。また、このビューの下部には現在選択中のイベントのデータが記載されている。

6. 閲覧ツールの使い方

本ツールは主にマウスと矢印キーを使って操作する。まず完成図ビューに表示されたイラストの上でマウスをドラッグし、イベントを探りたい領域を指定する。領域が指定されると、イベントグラフビューには指定した領域で起こったイベントがイベントグラフで表示さえる。また、拡大図ビューには各イベントが起こった時点における制作中のイラストの指定領域部分だけが表示される。本ツールの使い方の大まかな流れは、イベントグラフを手がかりにして、拡大図ビューでメイキングを閲覧するというものである。以下、本ツールの具体的な使用例を、図1（完成図ビュー）に含まれるイラストを用いて説明する。このイラストには、青い布がかけられたテーブル、赤いリンゴ、緑のワインボトルが描かれている。

6.1 全体を見る

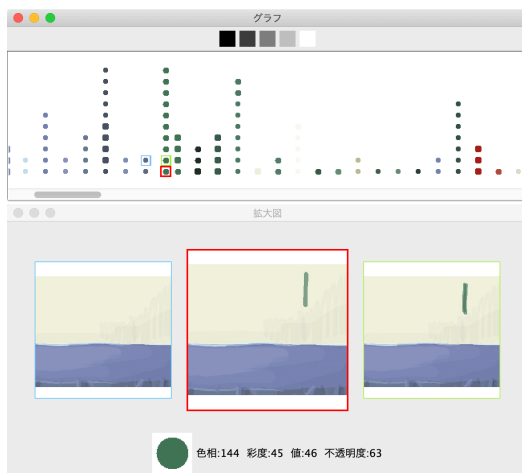


図4 緑のイベントグループの先頭イベント



図5 赤のイベントグループの先頭イベント

完成図ビュー上で、イラスト全体を囲むように矩形領域を指定すると、すべてのイベントがイベントグラフに表

示される。イベントグラフでは、ペンの色でイベントがグループ化されているため、色を手がかりにオブジェクトが描かれた時点を探索することもできる。表示されたイベントグラフを左端から順番に見ていくと、しばらく青いイベントが続いた後に、緑が多く集まったイベントグループが見られた。このイベントグループでワインボトルが描画され始めたかと推測できる。緑のイベントグループの先頭のイベントを選択すると、拡大図ビューにボトルの描き始めの様子を見ることができた(図4)。

そのままイベントグラフを右へと見ていくと、しばらく緑のイベントグループが並んだ後、赤のイベントグループが現れた。先ほどと同様に、このイベントグループでリンゴが描かれ始めたかと推測できる。赤のイベントグループの先頭のイベントを選択すると、拡大図ビューにリンゴの描き始めの様子が表示された(図5)。その状態で上矢印キーを押し続けると、イベントグループ内のイベントをひとつづつたどることができ、リンゴの概形を決めた後に細部を描き進めている様子を読み取れた。

6.2 オブジェクトごとに見る

まずワインボトルをどのような手順で描画しているかを見るために、完成図ビューでワインボトルが描画されている領域を囲んだ。白に近いイベントが多数発生しているため、視認性を考えてイベントグラフビューの背景色を1トーン落とした。指定した領域の外で発生したイベントは省かれるため、イラスト全体を囲んだ時と比べてイベントグラフの幅が短くなっている。ボトルのディテールを描いていると思われる緑色の円の描画データを確認すると、140から170あたりの色相を多く用いていることがわかった。次に、テーブルに落ちる影を描くのに使われている色を知るために、ボトルの影を囲むように領域を指定した(図6)。ボトルの影の描画データを確認すると、こちらも、多くのストロークに140から170あたりの色相が用いられており、明度と不透明度には低い値が用いられていたことが分かった。つまり、ボトルの色に近い色相の暗い色を、不透明度を下げてテーブルの上に重ねることで、ボトルの影を表現していることが読み取れた。

次にリンゴを描画する過程を見るために、リンゴが描画されている領域を矩形で囲んだ。この領域のイベントグラフも明るい色が多かったため、背景色をもう1トーン落とした。右矢印キーを押し続けると、全体の赤い部分や、ヘタ周辺と下部の黄色い部分、右側にかかる陰など、リンゴがおおまかに色分けされていく様子が見られた。続いて、ディテールの描き込みについて観察した。先ほどと同様に右矢印キーを押し続けた後、ディテールを描き始めたと思われる辺りで右矢印キーを離れた。描き始めのタイミングに合うように、左右の矢印キーを押して描き始めのイベントを正確に選択する。白いイベントグループに差し掛

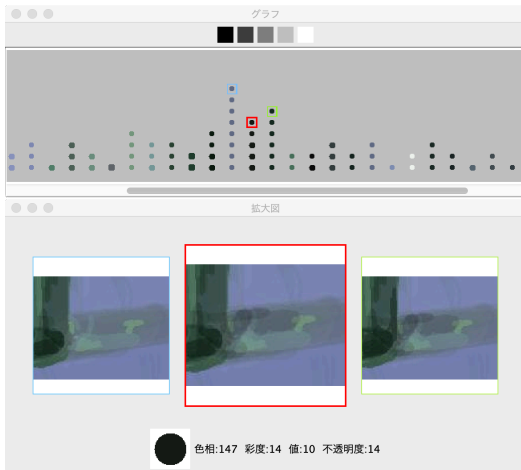


図 6 ワインボトルの影に関するイベントの閲覧

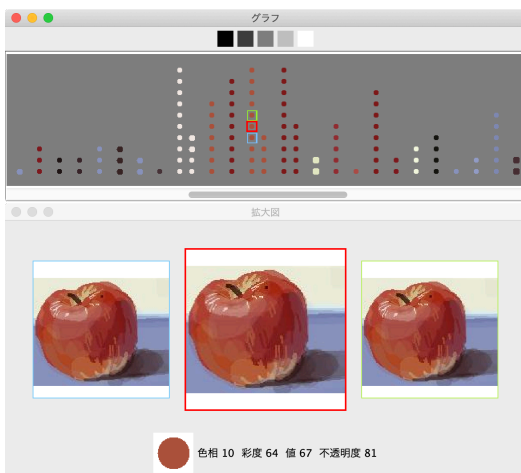


図 7 リンゴのディテールの描画過程の閲覧

かった辺りでディテールを描き始めていると思われたので、そのイベントグループの先頭から順に、上矢印キーを使って一つずつイベントを追った。ディテール部分を観察すると、短くて細いストロークを縦方向に何本も入れることで描画されていることがわかった(図7)。描画データを見ると、リンゴの中で比較的明るく、光が当たっている場所には白に近い色が、それ以外のところにはすでに描画されている色と近い色が用いられていることが読み取れた。

7. 評価実験

提案する領域指定方式の有効性を検証するために評価実験を実施した。

7.1 比較対象

本実験では、動画方式を比較対象とした。記事方式に比べて、動画方式は描画の様子がわかりやすい、多くのシーンを閲覧できるという利点がある。そのためメイキングの視覚的情報という面では記事方式より優れていると考えた。メイキングの作者による解説文などを考慮するとこの

限りではないが、今回は視覚的表現の比較に焦点を合わせることにした。

動画方式のメイキングで最も代表的なものは YouTube に投稿されたものであるが、本実験では独自に制作した動画を QuickTime Player で閲覧する方式とした。YouTube の再生環境でシーンを探索する場合と比べて、QuickTime Player であればシークバーによりシーンを細かく探することができるに加え、倍速機能や巻き戻し機能も利用できる。そのためシーンの探索に関しては YouTube よりも優位であると考え、QuickTime Player を採用した。

7.2 仮説

実験を行うにあたり次のような仮説を設定した。

仮説 1 探索を行う効率は領域指定方式の方がよい

仮説 2 描画の様子は動画方式の方が分かりやすい

動画方式では手がかりが与えられていない状態でシークバーから探索しなければならないのに対し、領域指定方式は指定した領域以外の工程は全て省略されイベントグラフの手がかりもあるため、探索の効率は領域指定方式の方が優れていると予想した。しかし、動画方式は描画の様子を動画で見られるのに対し、領域指定方式は静止画だけで表されるため、実際の描画の様子は動画方式の方が分かりやすいと予想した。

7.3 タスク

実験参加者にはメイキングを閲覧してもらい、描画データの読み取りに関するタスクを行なってもらった。実験参加者への指示は以下の通りである。このようなタスクを、領域指定方式と動画方式の両方で、それぞれ3問ずつ出題した。

「あるイラストの中に描画されている2つのアイテムをこちらから指定します。それぞれアイテムを描画したストロークを探し、そのストロークで用いられている色の3成分(色相, 彩度, 明度の値)を、できるだけ速く、正確に回答してください。」

実験にあたって2種類のイラストを用意した(図8)。どちらのイラストも総描画時間は約20分である。それぞれ3問(タスク1, タスク2, タスク3)用のオブジェクトを含んでいる。2つのアイテム間の描画間隔は、タスク1では約20秒、タスク2では約5分、タスク3では約15分とした。つまり、2番目のアイテムの探索難易度はタスク1, タスク2, タスク3の順に高くなっていると考えられる。

なお、アイテムを描画したストロークが曖昧にならないよう、アイテムの描画に複数のストロークや複数の色を用いないようにした。



図 8 実験に使用したイラスト

7.4 実験参加者

潜在的利用者を対象とした実験にするために、イラストを制作した経験またはイラスト制作への興味があり、イラストのメイキング動画を閲覧したことがある 8 名を、実験参加者として集めた。全員大学生である。

7.5 実験環境

実験には MacBook Air (Retina, 13-inch, 2019) のディスプレイとキーボード、タッチパッドを使用した。メイキング閲覧タスクで使うツールとして、Java で開発した閲覧ツールと、macOS に搭載されている QuickTime Player を用いた。

7.6 実験手順

実験参加者には、まず練習用のイラストを使って 2 つの方式に慣れてもらった。どちらの方式についても、ツールの基本的な使い方と実験する上での注意点、シーンを探索するコツを説明した。

説明と練習を終えた後、2 つの方式のうち一方の方式を用いて 3 回分のタスクを行なってもらった。各タスクでは、開始からアイテム 1 を発見するまでの時間と、アイテム 1 を発見してからアイテム 2 を発見するまでの時間をそれぞれ計測した。ここで言う「発見する」とはアイテムを描画した「ストロークを見つけ、その色成分を回答することとする。一方の方式で 3 つのタスクを終えた後、もう一方の方式で同様に 3 タスクを行なってもらった。2 つの方式を用いる順序はカウンターバランスをとるために実験参加者ごとに変えた。両方式で合計 6 つのタスクを終えたあと、アンケートを実施した。アンケートでは、各方式を用いた時の効率とわかりやすさについての 5 段階評価と、自由記述を行なってもらった。

7.7 実験結果

今回の実験では誤答は見られなかった。そのため、回答時間の検定のみ行った。仮説 1 については計測時間とアンケート結果、仮説 2 についてはアンケート結果から検証した。6 種類 (3 タスク × 2 アイテム) それぞれについて、動画方式と領域指定方式の間で、マン・ホイットニー U 検定を行なった。有意水準は $p < 0.05$ とした。表 1 に、タ

表 1 タスクの実施結果

タスク	動画方式 (秒) 平均 (S.D.)	提案方式 (秒) 平均 (S.D.)	p 値 (* $p < 0.05$)
T1-1	24.1 (10.3)	15.3 (3.55)	1.95×10^{-1}
T1-2	12.8 (5.46)	13.1 (9.08)	7.98×10^{-1}
T2-1	17.2 (6.68)	12.3 (5.31)	$3.79 \times 10^{-2*}$
T2-2	23.3 (9.39)	7.46 (3.03)	$1.35 \times 10^{-3*}$
T3-1	15.7 (3.96)	8.99 (3.50)	$6.99 \times 10^{-3*}$
T3-2	16.7 (6.01)	7.09 (2.36)	$7.36 \times 10^{-3*}$

表 2 アンケート結果

評価	1	2	3	4	5
効率の良さ	0	1	0	2	5
描画のわかりやすさ	0	2	1	4	1
どちらを使いたい	0	2	3	1	2

スクの回答時間 (秒) と、検定結果を示す。なお、左欄の「T m - n 」はタスク m での n 番目のアイテムの発見時間を意味している。タスク 1 では、どちらのアイテムでも 2 方式間で有意差は見られなかった。タスク 2 とタスク 3 では、両方のアイテムについて有意差がみられた。いずれも領域指定方式の方が短い時間でアイテムを発見できており、動画方式よりも効率の面で優れているという結果となった (仮説 1)。

7.8 アンケート結果

アンケートでは下記の設問について、5 段階評価 (動画方式の方が良ければ 1、領域指定方式の方がよければ 5) を行なってもらった。

- どちらの方が効率良く閲覧できると思ったか
- どちらの方が描画の様子がわかりやすいと思ったか
- メイキング閲覧ツールとして使用したいのはどちらか

表 2 に、アンケートの集計結果を示す。効率の良さについては、領域指定方式が 7 票、動画方式が 1 票で、ほとんどの実験参加者が領域指定方式を評価している。描画のわかりやすさについては、領域指定方式が 5 票、動画方式が 2 票で、領域指定方式の方が良い評価である。総合評価 (どちらを使いたい) に関しては、領域指定方式が 3 票、動画方式が 2 票で、「どちらとも言えない」の選択肢が 3 票と多かった。

自由記述に描かれた意見としては、領域指定方式に関しては、「領域が絞られているので目的のシーンを探索しやすく、閲覧したい部分やオブジェクトが決まっているときは効率が良い。」や「ペンの位置・動きの情報が得られないため、動画で見られる方が良い。」という意見が多くみられた。その他、「どのストロークをどのタイミングで描画したか目星がつけやすい」、「枠の位置関係や、マウス・キーボード入力とイベントグラフの動きの対応関係に混乱することがある」、「グラフ内で似た色があった時に分かりづらい」といった意見があった。動画方式に関しては、「動

画で見られるため実際の描画の様子が分かりやすい。しかし、どの部分をいつ描いているか分からないので、ある特定の部分を探索する時は効率が悪い。」という意見が多く見られた。その他、「全体の流れを把握するにはよい」、「シークバーの細かい操作が難しい」、「同じオブジェクトでも描画の間隔タイミングが離れているとき閲覧に時間がかかる」という意見もあった。

自由記述の意見をまとめると、閲覧の効率については領域指定方式の方が優れており、描画の様子のわかりやすさについては動画方式の方が優れているということになる(仮説2)。5段階評価では、閲覧の効率は領域指定方式の方が優れているという結果は自由記述と同じだが、描画のわかりやすさについては領域指定方式の方が多く票を獲得しており、自由記述とは若干乖離がある。

8. まとめと今後の課題

イラストのメイキングの閲覧ツールとして、制作過程を俯瞰でき、知りたい部分を効率的に探せる領域指定方式を提案した。提案した方式は、イラストのメイキングを時空間データとして捉えたときに、空間的領域でイベント群を絞り込めるとともに、その領域で発生したイベント列を俯瞰するための表現を備えている。このような方式によるメイキング閲覧ツールのプロトタイプを開発するとともに、評価実験を実施し、その有効性を検証した。評価実験の結果、動画方式に比べて探索効率は良いことが分かった。その一方で、ペンの位置や動きのような描画の様子を知りたいという要望に対しては課題があることが分かった。

今後の課題としては、ストローク以外の他の操作をどのように表現するか、レイヤーのような構造をどのように表現するかを検討する必要がある。また、動画方式の方が優れているという意見があったペンの位置や動きのような「テクニック」をどう見せるかも課題である。さらに、プロトタイプの改善という点では、実装の効率化が残されている。今回の実験やユースケースに使用したイラストは20分程度で制作したものであるが、実際の制作はもっと長時間に渡り多くのストロークを含むと考えられる。実用性を高めるためにはそのようなデータに耐えられるようにする必要があり。

謝辞

本ツールを設計するにあたり議論に加わってくださった筑波大学の川口一画先生に感謝いたします。

参考文献

- [1] 伊藤正彦. 時空間イベント探索のための3次元情報可視化. オペレーションズ・リサーチ, Vol. 63, No. 1, pp. 42–50, 2018.
- [2] 高木佐恵子, 松田憲幸, 曾我真人, 瀧寛和, 志磨隆, 吉本富士市. 初心者のための基礎的鉛筆デッサン学習支援システム. 画像電子学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 386–396, 2003.
- [3] 瀧寛和と曾我真人. デッサン描画中に描画領域に依存したアドバイスを提示するデッサン学習支援環境. 人工知能学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 96–104, 2008.
- [4] Daniel Dixon, Manoj Prasad, and Tracy Hammond. CanDraw?—using sketch recognition and corrective feedback to assist a user in drawing human faces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*, pp. 897–906, 2010.
- [5] 鈴木浩平, 加納徹, 竹島由里子. 力覚装置を用いたイラスト描画練習支援システムの開発. 第80回全国大会講演論文集, pp. 397–398, 2018.
- [6] 井上航, 小林裕介, 安田光, 市村哲. Arを用いた人物画の描画支援. 情報処理学会シンポジウム論文集, pp. 735–738, 2011.
- [7] 新納真次郎, 萩原奈苗, 中村聡史, 鈴木正明, 小松孝徳. Average painter: 平均化による描画支援手法. In *WISS2016*, 2016. Poster, 2 pages.
- [8] 川連一将, 渡邊恵太. Illustpose: 姿勢データを利用した人物デッサン支援システム. In *WISS2015*, 2015. Poster, 2 pages.
- [9] 高橋拓, 中村聡史. イラスト客観視のための部分遮蔽手法の検討. 情報処理学会 研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), Vol. 2019-DCC-21, pp. 1–8, 2019.
- [10] 三末和男. 時刻付きデータの可視化. オペレーションズ・リサーチ, Vol. 63, No. 1, pp. 27–34, 2018.
- [11] Martin Wattenberg, Fernanda B. Viégas, and Katherine Hollenbach. Visualizing activity on wikipedia with chromograms. In Cécilia Baranauskas, Philippe Palanque, Julio Abascal, and Simone Diniz Junqueira Barbosa, editors, *Human-Computer Interaction – INTERACT 2007*, pp. 272–287, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer Berlin Heidelberg.
- [12] B. Bach, P. Dragicevic, D. Archambault, C. Hurter, and S. Carpendale. A descriptive framework for temporal data visualizations based on generalized space-time cubes. *Computer Graphics Forum*, Vol. 36, No. 6, pp. 36–61, 2017.
- [13] Edward R. Tufte. *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, 1992.
- [14] 千葉大輝, 兵吾勇貴, 三末和男. 時空間変量の空間的変化を読み取りやすい可視化手法の開発と評価. 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-HCI-170, No. 9, pp. 1–8, 2016.
- [15] Hiroki Chiba, Yuki Hyogo, and Kazuo Misue. Static representation exposing spatial changes in spatio-temporal dependent data. *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E101-D, No. 4, pp. 933–943, 2018.