

ChronoSketcher

小野 武汰^{1,a)} 中小路 久美代^{1,b)} 山本 恭裕^{1,c)}

概要:手描きスケッチは、特にデザインプロセスの初期段階において、思考の視覚的外在化の手段として広く用いられている。ユーザは、自らが描き出していく線描（ストローク）から成る外在化表現からの〈語りかけ〉を〈聞いて〉、次に何を描くべきか、どこに何が足りないのか、ここに描かれているものはそれで良いのか、といった創造的対話を繰り返す。本研究では、先行研究となる ART019 の着想に基づき、スケッチの描画履歴を活用するブラウザベースの ChronoSketcher を構築した。ChronoSketcher では、全ストロークの時間的情報の可視化（StrokeTimeline）および任意の描画途中状態（Snapshot）の保存と呼び出し機能を備えた描画キャンバスを提供する。これにより、極めて認知負荷の高い創造的な描画過程において、修正・分岐・比較といった操作を中断的なツール操作としてではなく、描き手自身の思考の流れの延長として行えるよう支援することを目指している。

1. はじめに

手描きスケッチは、デザインや創造的問題解決の初期段階において、思考を視覚的に外在化し、未分化なアイデアを探索するための重要な手段として広く用いられてきた。スケッチを描く行為は、単に頭の中の考えを紙や画面上に表現することにとどまらず、描き出すにつれて目の前に現れてくる線描やそれらが作り出す形状を見ることによって、新たな気づきや問いを生み出す循環的な思考過程を含んでいる [1]。描き手は、自らが生み出した外在化表現からの〈語りかけ〉を〈聞き〉 [2]、次に何を描くべきか、どこに何が足りないのか、ここに描かれているものはそれで良いのか、といった問いを自分の中で繰り返しながら、スケッチを発展させていく。Donald Schön は、建築デザイナーが行う手描きスケッチを、「状況との内省的対話（reflective conversation with the situation）」として捉え [2]、デザイナーが素材や表現に働きかけることで状況が変化し、その結果として生じた形態や関係が、今度はデザイナーに対して意味や制約として「語りかけてくる（the situation talks back）」とした。この語りかけに応答するかたちで次の行為が選択されるという往復的なプロセスこそが、特にデザインの初期段階における創造的思考の中核を成す [3]。手描きスケッチにおいて描き出す線（ストローク）もまた、このような「対話の相手」として機能する素材であると考

えることができる。描き手はスケッチという物質的・視覚的状况と対話しながら思考を進めているといえる。

この観点から既存のデジタル描画ツールを鑑みると、その多くは、完成したスケッチや最終成果物の生成・編集を主眼として設計されており、スケッチが生成されていく過程そのものや、描画行為の履歴が持つ意味に十分には焦点が当てられていない。その結果、描画の途中で生じた試行錯誤や分岐、過去の判断に立ち返るといった、創造的対話にとって本質的な行為は、ユーザの記憶や負担の大きい操作に委ねられている。特に、過去の描画状態を比較したり、異なる描画の分岐を行き来したりすることは、高い認知負荷を伴う作業となりがちである。

そこで本研究では、先行研究 ART019 の着想に基づき、スケッチの描画履歴を積極的に活用するブラウザベースの描画環境 ChronoSketcher を構築した (図 1)。ChronoSketcher は、全ストロークの時間的情報を可視化する StrokeTimeline と、任意の描画途中状態を保存・呼び出し可能な Snapshot 機能を備える。これにより、描き手は過去の自分の描画行為を状況として再訪し、異なる描画分岐を行き来しながら比較・検討することが可能となる。本研究は、描画履歴を単なる操作ログとしてではなく、過去の行為からの語りかけを再び〈聞く〉ための媒介として位置づける点に特徴がある。ChronoSketcher では、ART019 では備えていなかった過去に描いたストロークの Canvas 上での移動や、新たに、他者のストローク履歴のインポート、さらには、保存したスナップショット群を指定した上での空間的なストローク検索の機能を実装している。本稿では、ChronoSketcher の設計とそのインタラクションの特徴を示し、スケッチの

¹ 公立はこだて未来大学

^{a)} b1022059@fun.ac.jp

^{b)} kumiyo@fun.ac.jp

^{c)} yxy@fun.ac.jp

時間的履歴を扱うことが、状況との対話としてのスケッチ実践をどのように支援し得るのかについて議論する。

2. ChronoSketcher のデザイン

ChronoSketcher は、本研究において用いるスケッチ環境であり、ART019 の設計思想と中核的インタラクションを、browser-based な実装として再構成したものである。本研究では、この時間的アプローチの枠組みを維持しつつ、描画途中状態（スナップショット）を保存・比較・遷移できる環境を構築することで、描き手が過去の構成を参照しながら発想を多方向に展開できるかを検討する。

2.1 ベースとした ART019 の設計思想

従来の多くのスケッチブックインタフェースが、レイヤやページといった静的構造を用いて描画内容を管理していたのに対し、ART019[4] は、スケッチ過程の時間的变化に焦点を当てたアプローチをとっている。ART019 では、手描きストロークがタイムスタンプ付きのシーケンスとして記録され、ユーザは描画の任意の時点に遡って再訪・比較することができる。すべての線描はストローク単位で行われ、ストロークの一部を消去することはできない。一旦描かれたストロークはすべて保存されており、ストロークのアクティブ/インアクティブ切り替えによって、キャンバス上での表示・非表示が制御される。

キャンバス上で描き出した表現は、描画途中の状態としてスナップショットとして保存ことができ、これらはスナップショットリストとして管理される。任意のスナップショットを選択すると、そのスナップショットを構成するストロークがアクティブとなり、当該時点での描画状態が再現される。この仕組みにより、ユーザは描画の途中段階に立ち返り、過去の状態を現在の状況として読み直すことができる。

また、キャンバス上では Lasso 機能を用いて特定の領域に含まれるストローク群を選択ことができ、それらを非表示にしたり、あるいは選択されたストローク以外をすべて非表示にするといった操作が可能である。さらに、修飾キーを併用することで、現在は非表示となっているストロークも含め、指定領域に描かれていたすべてのストロークを選択することができる。これにより、過去にその領域に描かれていた要素を呼び出し、現在描いている表現と組み合わせるといった再構成が可能となる。

ストロークタイムラインでは、すべてのストロークが時間軸に沿って可視化されており、特定の時間帯に描かれていたストローク群を選択することができる。本システムの特徴は、キャンバス上での選択によって空間的なまとまりを、ストロークタイムライン上での選択によって時間的に連続した描画行為のまとまりを、それぞれ独立に扱える点にある。これにより、ユーザは空間と時間の両面から描画

履歴を操作し、ストロークの組み合わせを変えながらスケッチを再構成することができる。

このように ART019 は、描画過程を動的に再構成し、スナップショットやストロークの異なる段階間を行き来しながら、過去の描画行為を状況として読み直す体験を可能にしている。ART019 の設計思想は、スムーズで自然な描画体験を保証し、不必要な機能性を避けることに主眼が置かれている。このため、ユーザが再体験、選択、比較といった基本的な相互作用を通じて過去の描画段階を振り返ることは可能であるものの、保存された過去の状態を基点として発想を分岐させたり、複数の構成案を並行して検討したりするための手法については、さらなる探索の余地が残されているといえる。

なお、ART019 において提案された時間ベースのストローク管理という設計思想は、その後、異なる文脈にも展開されている。Design Practice Streams (DPS) [5] は、ホワイトボード上の描画、設計ミーティング中の発話トランスクリプト、およびミーティング映像を、すべて時間軸に基づいて関連付けることで、協調的な設計実践における思考の流れを後から振り返ることを可能にしたシステムである。DPS では、描画や発話に付与された時間情報を用いて、設計判断がどのような文脈で生じたのかを横断的に参照することができる。

DPS は、設計ミーティングの記録と振り返りを主眼としており、本研究が対象とするスケッチ実践中の描画行為そのものを支援するツールではない。しかし、時間情報を手がかりとして、過去の行為や判断を再解釈可能な対象として扱うという点において、ART019 と共通する設計思想を持つ。ChronoSketcher は、この思想を、個人のスケッチ実践という文脈に引き戻し、描画行為の進行中に活用することを試みるものである。

2.2 描画過程における分岐と再構成

ChronoSketcher のデザインでは、極めて認知負荷の高い創造的な描画過程において生じる修正・分岐・比較といった行為を、中絶的なツール操作としてではなく、描き手自身の思考の流れの延長として行えるよう支援することを目的としている。この設計方針を検討するにあたり、本研究では Terry らによって提案されたインタラクションモデル Parallel Paths [6] を参照した。

Parallel Paths は、画像操作アプリケーションを対象に、ユーザが複数の代替解を同時に生成・操作・比較できるようにするためのインタラクションモデルである。Terry らは、従来の履歴追跡ツールやスナップショット保存機能では、操作の途中で生じる代替案を十分に活用できないことを指摘し、コマンド実行の前・中・後のいずれの段階においてもバリエーションを生成・管理できる環境を設計した。

本研究が対象とするスケッチ過程における思考の発展や

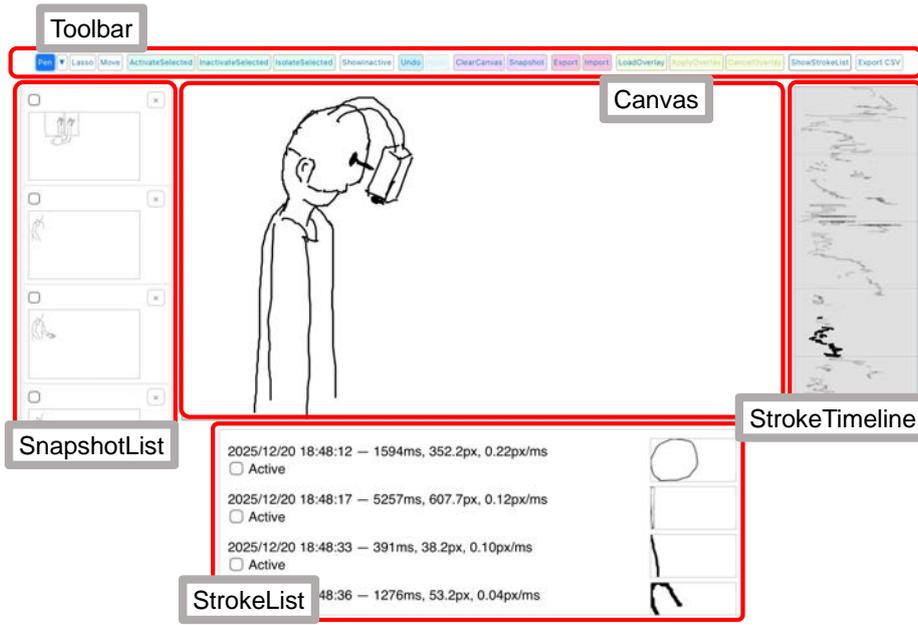


図 1 ChronoSketcher

再構成は、この Parallel Paths モデルと類似する側面を持つ。すなわち、複数の代替的な描画状態（スナップショット）を同一空間で比較・再利用するという考え方は、代替案をインタフェース上で明示的に扱うという Parallel Paths の設計思想と共通している。一方で、本研究ではこれを、スケッチ行為に固有の時間的文脈の中に位置づけ、描画履歴の活用を通じて、過去の思考過程を振り返り、再解釈する体験として捉える点に特徴がある。

Terry らは、Parallel Paths を *Multiple Potential Future Realities* (MPFR) という概念によって説明している [6]。MPFR は、「あり得る複数の未来」を並置して扱う考え方であり、「こうしたらこうなる」「あれをしたらこうなる」といった異なる可能性を同時に検討することの重要性を示している。一般に trial-and-error という語には、試行の結果として誤りに至るといった含意が含まれるが、本研究では、デザインにおいて複数の案を生成し、比較しながら検討する行為を、本質的かつ必然的な認知的プロセスとして捉える。

ChronoSketcher では、この MPFR の考え方を、単なる試行錯誤としてではなく、複数の可能な構成を並べ、それぞれが生み出す表現からの〈語りかけ〉を聞きながら選択していく過程として位置づけている。描画履歴やスナップショットは、そのための素材として機能し、描き手が過去の行為と対話しながら次の一手を決めることを支援する。

2.3 共通する問題意識を有する関連研究

ChronoSketcher では、ストローク単位での過去の描画履歴を保持し、それらを再構成可能な素材として扱う点に特徴がある。同様の問題意識を持つ研究として SketchMaker [7] がある。SketchMaker は、既存のスケッチから抽出したオブジェクトを再利用可能な要素として組み合わせ、新たなスケッチを生成できる環境を提供している。これにより、描画の負担を軽減しつつ、情報量の多いスケッチを効率的に生成できることが示されている。

SketchStorm [8] は、中央のキャンバスと周辺に流れる画像ストリームを組み合わせることで、スケッチと外部参照の併用を支援するツールである。実運用を通じて、画像が具体的な参照例として用いられる場合と、着想を促す背景として用いられる場合の両方が観察されている。さらに、Sketchy [9] は、スケッチ中に他者の進行中のスケッチを参照できる「Peek」機能を備えたスケッチツールであり、教室環境での実験を通じて、利用者の創造性や最終成果に対する満足度の向上が報告されている。同様に、Gambit [10] は、複数のユーザが異なるデバイス上でスケッチを共有し、設計段階に応じた表現の切り替えを支援する環境を提供している。ChronoSketcher では、これらの研究と同様に、他者のスケッチや過去の表現の履歴データをインポートできるようにすることで参照可能な資源として扱うが、特に描画履歴を時間的文脈の中で保持し、描画行為の進行中に再解釈・再利用できる点に焦点を当てている点で独自性がある。

3. ChronoSketcher

ChronoSketcher は、Web ブラウザベースのインタラクティブなツールである。JavaScript, HTML, CSS を用いて構築している。iPad などで表示し、アップルペンシルを用いて描画する、といったことが一般的な使用法である。

3.1 ChronoSketcher の構成

システムは、*Canvas*, *SnapshotList*, *StrokeTimeline*, *StrokeList*, *Toolbar* の 5 つの要素で構成される (図 1)。

Canvas は、ユーザーがスケッチでストロークを描画する際に使われる領域である。描画データには、ストロークの ID, 各座標点の x 座標・y 座標・描画時刻 (ms), 線幅 (ピクセル), 色 (16 進 RGB 形式), 描画開始時刻, 描画終了時刻, 描画時間 (ミリ秒単位), 描画距離 (ピクセル単位), 平均速度 (px/ms), アクティブ状態 (真偽値) が記録される。

SnapshotList は、ユーザーが保存した各スナップショットのプレビュー画像を一覧表示する領域である。各スナップショットには、ID, 保存時刻, アクティブなストローク ID の集合, プレビュー用画像データが保存されている。保存済みのスナップショットは *SnapshotList* 上にプレビュー画像として表示されており、ユーザーがこれを選択すると、対応する保存時点のスケッチ状態がキャンバス上に再現される。新たなスナップショットが保存されるたびに、そのプレビュー画像はリストの先頭に追加され、最新の状態が常に上部に表示される。この仕組みにより、ユーザーはスナップショットの履歴を時系列に沿って辿り、スケッチの生成過程を視覚的に把握することが可能である。

StrokeTimeline は、ユーザーが描画した各ストロークの描画順序と描画時間を時系列上に可視化する領域である。*StrokeTimeline* における各ストロークの時間的表現は、水平方向をキャンバス上の座標軸に設定、垂直方向を各点が描画された時間に対応させている。そのため、描画に時間を要したストロークほど垂直方向に長く表示される。また、描画中は新しいストロークの追加に合わせてタイムライン全体を縦方向に縮小することで、全てのストロークが常に表示されるように調整している。ユーザーは時間軸上のストロークを選択することで、特定の時間帯に行われた描画行為をまとめるとして捉えることができる。選択されたストロークはキャンバス上の表示と連動し、アクティブ/インアクティブ状態の切り替えや、構成要素としての再解釈を行うことが可能である。これにより、ユーザーは描画順序や描画過程の違いを俯瞰的に把握し、スケッチの再構成を行うことができる。

また、*Canvas* の下部に、ユーザーが描画したストロークを一覧で表示する領域 *StrokeList* としてを表示することができる。

3.2 ChronoSketcher の機能

ChronoSketcher 上部に配置された *Toolbar* は、ユーザーがスケッチの操作を行うためのインターフェースである。本ツールの *Toolbar* には、描画モードの切り替えやストロークの状態変更、スナップショットの保存・管理など、スケッチ作業を支援するための各種ボタンが配置されている。具体的には、*Pen*, *Size*, *Color*, *Lasso*, *Move*, *ActiveSelected*, *InactiveSelected*, *IsolateSelected*, *ShowInactive*, *ShowStrokeList*, *Undo*, *Redo*, *Clear*, *Snapshot*, *Export*, *Import*, *LoadOverlay*, *ApplyOverlay*, *CancelOverlay*, *Export CSV* が含まれる。

3.2.1 基本的描画機能

(1) *Pen*: *Pen* ボタンは、ユーザーがキャンバス上にストロークを描画できるモードを有効化する機能である。ボタンを押すとペンモードに切り替わり、ユーザーは指またはペンデバイスを用いてキャンバス上に自由に線を描画できる。描画されたストロークには線幅・色・描画時刻の情報が付与され、*StrokeList* および *StrokeTimeline* に自動的に記録される。

(2) *Size*: *Size* スライダーは、ストロークの線幅を調整するための機能である。スライダーを操作することで、描画時の線の太さを 1~20px の範囲で変更できる。

(3) *Color*: *Color* ピッカーは、描画するストロークの色を指定する機能である。ユーザーはカラーピッカーを用いて任意の色を選択できるほか、16 進 RGB 形式で直接カラーコードを指定することも可能である。

(4) *Undo/Redo*: *Undo* / *Redo* ボタンは、ストローク集合、アクティブ状態の切り替え、選択状態、スナップショットの切り替え、および移動情報を含む内部状態を履歴として 100 個まで保持、管理できる。

(5) *ClearCanvas*: *ClearCanvas* ボタンは、キャンバスの現在の状態をスナップショットとして保存し、その後、キャンバス上に描画されていた全ストロークを一括でインアクティブ状態に切り替える機能である。

3.2.2 ストローク操作関連機能

ChronoSketcher の特徴的なインタラクティブリティとして、描いたストロークに対して行える様々な操作がある。

(6) *Lasso*: *Lasso* ボタンは、キャンバス上に描かれたストロークを矩形範囲で囲み、選択できるモードを有効化する機能であるボタンを押すとペン描画から選択モードに切り替わり、ユーザーは任意の範囲をドラッグしてストロークを選択できる。選択後は、*ToggleSelected* ボタンを使用して選択ストロークのアクティブ/インアクティブ状態を切り替えることができる。選択されたストロークは、キャンバスおよび *StrokeList* 上で点線になり強調表示される。また、インアクティブ状態の薄く表示されたストロークもアクティブ状態のストロークと同様の操作を行うことができる。

(7) *Move* : Move ボタンは、選択されたストローク群をキャンバス内で移動させる機能である。Move 操作では、選択されたストローク群をドラッグによって移動させた後、移動先のストロークを新たなストロークとして生成する。同時に、元のストロークはインアクティブ状態に切り替えられ、両ストロークの間には親子関係が付与される。親子関係が付与されたストロークは、Lasso 機能で選択すると StrokeTimeline 上で点線で結ばれ、関係を可視化することができる。

(8) *ActiveSelected/InactiveSelected* : ActiveSelected/InactiveSelected ボタンは、Lasso モードで選択されたストロークのアクティブ/インアクティブ状態を反転させる機能である。押下時に、選択中のストロークがアクティブであればインアクティブに、インアクティブであればアクティブに切り替わる。切り替え結果はキャンバス上の可視状態および StrokeList のチェックボックスに即時反映される。

(9) *IsolateSelected* : IsolateSelected ボタンは、実行すると、ユーザによって選択されたストロークのアクティブ状態を維持し、選択されていないストロークをすべてインアクティブ状態へと切り替える機能である。これにより、キャンバス上では選択ストロークのみがアクティブ状態として表示され、他のストロークは非表示もしくは透明度 15% で表示される。

(10) *ShowInactive* : ShowInactive ボタンは、キャンバス上におけるインアクティブ状態のストロークを薄い実線（不透明度 15 パーセント）で可視化する機能である。押下によりトグル動作を行い、ON 状態では非アクティブなストロークが淡色表示され、OFF 状態では完全に非表示となる。この機能が ON 状態のときはボタンが青色で強調される。また、スナップショット左上のチェックボックスで選択したスナップショットのみに適用させることも可能である。

(11) *ShowStrokeList* : ShowStrokeList ボタンは、StrokeList 領域の表示/非表示を切り替える機能である。ボタンを押すことでリストの展開・折りたたみを切り替えられ、ユーザは必要に応じてストローク情報を確認・アクティブ状態の切り替えができる。

3.2.3 描画過程操作関連機能

(12) *Snapshot* : Snapshot ボタンは、ボタン押下時点のスケッチ状態をスナップショットとして保存する機能である。Save ボタン押下時に、キャンバス上の描画内容およびストロークリストにおけるアクティブなストローク集合を 1 つのスナップショットとして記録し、SnapshotList に自動的に追加する。

(13) *Import/Export* : Import および Export ボタンは、スケッチデータを JSON 形式で読み込み・書き出しするための機能である。Export では、全ストローク情報 (ID, 座

標列, 描画時間, 描画距離, 速度, 状態) およびスナップショット情報 (保存したスナップショットを再現するアクティブ状態のストロークの集合) が JSON ファイルとして出力される。

(14) *Overlay (Load / Apply / Cancel)* : Overlay 機能は、本ツールで過去に Export した JSON ファイル形式で保存したスケッチや他者のスケッチデータを一時的に重ね合わせ、その一部を現在のスケッチに取り込むための機能である。ユーザは既存のスケッチを参照しながら、必要なストロークのみを選択的に取り込み、新たなスナップショットとして再構成することができる。この機能により、過去や他者の描画表現を、現在の構成検討の素材として活用することが可能となる。

(15) *Export CSV* : Export CSV ボタンは、ユーザの操作履歴を時系列データとして記録し、CSV 形式でエクスポートする機能を提供している。記録対象には、ペン選択、ラッソ選択、Undo/Redo、スナップショット切替、ストローク描画など、全操作が含まれる。各操作は「クリック」と「実行」を区別して記録され、CSV には操作種別、操作タイプ (Click / Executed)、日付、時刻が出力される。

3.3 ChronoSketcher の利用シナリオ

ChronoSketcher を用いてユーザは Canvas 上にスケッチを描き進めながら、過去に描いたストロークや描画途中の状態を随時参照し、再利用することができる。描画行為は一方方向に進行するものではなく、「今描いているもの」と「以前に描いたもの」とを行き来しながら構成を検討するプロセスとして展開される。

スケッチの途中で構成を見直したい場合、ユーザは Canvas 上の特定の領域や、StrokeTimeline 上の時間的まとまりを選択することで、関心のあるストローク群を取り出すことができる。選択されたストロークは、一時的に非表示にしたり、逆に他のストロークを非表示にすることで、スケッチの一部を独立した構成要素として捉え直すことが可能となる。これにより、描画済みの表現を壊すことなく、構成要素の切り分けや再解釈を試みることができる。

また、スナップショット機能を用いることで、描画途中の状態を明示的に保存し、後から呼び出すことができる。ユーザは複数のスナップショットを行き来しながら、異なる構成案を比較したり、過去の構成を現在の文脈に取り込んだりすることができる。このように、ChronoSketcher の UI は、描画履歴を固定された過去としてではなく、現在の思考を刺激する素材として扱うことを可能にしている。

この利用シナリオにおいて、描画履歴やスナップショットは、単なる保存機能ではなく、描き手が過去の行為からの〈語りかけ〉を聞き取り、次の描画行為を選択するための媒介として機能する。

4. ChronoSketcher の利用事例

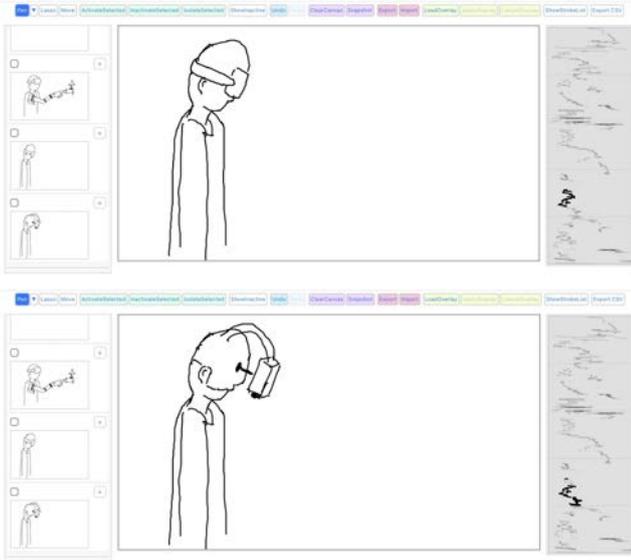


図 2 元のスケッチ (上) をベースに新たに構成されたスケッチ (下)

本章では、ChronoSketcher が実際のスケッチ実践の中でどのように現れるかを確かめるために行った利用事例を示す。本事例は、ツールの有効性を定量的に評価することを目的とした実験ではなく、設計思想がスケッチ行為の中でどのように具体化されるかを検討するためのデザインケースとしての位置づけとなるものである。

本事例では、iPad と Apple Pencil を用い、筆者自身が ChronoSketcher を使用して研究室の別メンバーの研究論文に掲載するための実験説明図を作成した。合計 7 つのスケッチを作成し、その過程において、既存のスケッチの一部を参照・再利用しながら、新たな説明図を構成する作業を行った。ここでは、その中から代表的な一例を取り上げる。

対象とした事例では、まず既存の説明図スケッチを起点として作業を開始した。描画途中で、説明の文脈を変更する必要が生じたため、Canvas 上で既存スケッチの一部ストロークを選択し、それらを一時的に非表示とした。これにより、元の構成の一部を保持したまま、新たな文脈に適した構成要素のみを残した状態が生成された (図 2 上)。

その後、残された構成要素を参照しながら、新たなストロークを描き加えることで、別の説明意図に対応したスケッチを構成した (図 2 下)。この過程では、元のスケッチを完全に破棄するのではなく、過去に描いた表現を素材として扱い、現在の構成に取り込むという操作が行われていた。

本事例では、描画されたスケッチの一部を選択・非表示化し、再構成する操作が繰り返し行われた。これは、ストロークが単なる図形としてではなく、発想や説明意図を支

える構成要素として認識されていたことを示唆している。ユーザは、過去の描画行為に立ち返り、それらからの〈語りかけ〉を手がかりとして、次に描くべき内容を選択していたと考えられる。

このような利用のされ方は、前節で述べたように、描画履歴やスナップショットを固定された過去としてではなく、現在の思考を刺激する素材として扱うという ChronoSketcher の設計意図と整合している。本事例は、スケッチが一方方向に進行するものではなく、過去と現在を行き来しながら構成を検討する対話的な実践として展開され得ることを示している。

参考文献

- [1] Suwa, M. and Tversky, B.: What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis, *Design Studies*, Vol. 18, No. 4, pp. 385–403 (1997).
- [2] Schoen, D.: *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*, Basic Books, New York (1983).
- [3] Yamamoto, Y. and Nakakoji, K.: Interaction Design of Tools for Fostering Creativity in the Early Stages of Information Design, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 63, No. 4–5, pp. 513–535 (2005). Special Issue on Creativity, L. Candy and E. Edmonds (Eds.).
- [4] Yamamoto, Y., Nakakoji, K., Nishinaka, Y. and Asada, M.: ART019: A Time-Based Sketchbook Interface, Technical report, KID Laboratory, RCAST, University of Tokyo (2006).
- [5] Nakakoji, K., Yamamoto, Y., Matsubara, N. and Shirai, Y.: Toward Unweaving Streams of Thought for Reflection in Early Stages of Software Design, *IEEE Software*, Vol. 29, No. 1, pp. 34–38 (2012). Special Issue on Studying Professional Software Design.
- [6] Terry, M., Mynatt, E. D., Nakakoji, K. and Yamamoto, Y.: Variation in Element and Action: Supporting Simultaneous Development of Alternative Solutions, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '04)*, Vienna, Austria, ACM (2004).
- [7] Liu, F., Deng, X., Song, J., Lai, Y.-K., Liu, Y.-J., Wang, H., Ma, C., Qin, S. and Wang, H.: SketchMaker: Sketch Extraction and Reuse for Interactive Scene Sketch Composition, *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, (online), DOI: 10.1145/3543956 (2022). Just Accepted.
- [8] Lindley, S., Cao, X., Hemes, J., Morris, R. and Meek, S.: Towards a Tool for Design Ideation: Insights from Use of SketchStorm, *Proceedings of the 27th International BCS Human Computer Interaction Conference*, British Computer Society (2013).
- [9] Wallace, S., Le, B., Leiva, L. A., Haq, A., Kintisch, A., Bufrem, G., Chang, L. and Huang, J.: Sketchy: Drawing Inspiration from the Crowd, *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 4, No. CSCW2 (online), DOI: 10.1145/3415243 (2020).
- [10] Sangiorgi, U. B., Beuvs, F. and Vanderdonck, J.: User Interface Design by Collaborative Sketching, *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*, ACM, (online), DOI: 10.1145/2317956.2318014 (2012).