

デジタルな線と面のあり方を問う視覚表現の研究

Reimagining the Roles of Digital Lines and Surfaces in Contemporary Visual Expression

中村 直永 NAKAMURA Naohisa

(デザイン領域)

1. はじめに

ユークリッド幾何学において「線は点の集合、面は線の集合、空間は面の集合」であり、この数学的で静的な概念に「運動」という視点を持ち込み、新たな造形の可能性を示したのが画家のパウル・クレード。こうした構成的理解は、画用紙を前に鉛筆を用いて描画を行う際には、身体的・感覚的な実感として捉えることが可能である。しかし、現代のグラフィックデザインにおいては、Adobe Illustrator に代表されるベクターグラフィックソフトが主要な制作手段となっており、このような「集合としての構成」概念は必ずしも前提とはならない。Illustrator で描かれるベジェ曲線は、関数的に定義される曲線であり、その造形は演算の出力結果として生成される。これらの処理はバックグラウンドで実行され、画面にはその結果が表示されるため、デザイナーがその過程を明示的に意識することはほとんどない。

本研究では、この当たり前に使われているベジェ曲線という「線」や、それによって生まれる「面」の存在感を問うことで、人間の身体的な感覚とコンピュータ上で操作する造形とのあいだに成立し得る新たな関係性の可能性を探ることを目的とする。

2. ベジェ曲線とは何か？

2-1. ベジェ曲線の定義と生成原理

ベジェ曲線 (Bézier curve) とは、 $n+1$ 個の制御点に基づいて定義される n 次のパラメトリック曲線である。Adobe Illustrator では、制御点である「アンカーポイント」と、それに付随する「ハンドル」によって曲線の形状が定義される。これにより生成される単一の曲線を「セグメント」と呼び、複数のセグメントが連続的に接続されたものを「パス」と呼ぶ。

Illustrator のペンツールで描画される曲線は、一般的に4つの制御点によって定義される3次ベジェ曲線である。

P_0 : 始点のアンカーポイント

P_1 : 始点に付随するハンドル

P_2 : 終点に付随するハンドル

P_3 : 終点のアンカーポイント

3次ベジェ曲線は、Bernstein 多項式に基づくパラメトリック方程式として表され、パラメータ t ($0 \leq t \leq 1$) により、曲線上の任意の点 $B(t)$ が以下の式によって求められる。

$$B(t) = (1-t)^3P_0 + 3t(1-t)^2P_1 + 3t^2(1-t)P_2 + t^3P_3$$

ここで、 P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3 はそれぞれ制御点の位置ベクトルであり、 t の値を0から1まで連続的に変化させることで、 $B(t)$ は曲線上の各点を描き出す。

この式が意味するのは、曲線は始点 (P_0) から終点 (P_3) へ向かう間に、ハンドル (P_1 、 P_2) に引っ張られるようにして、そのカーブの形が決まるということである。ハンドルは、カーブの接線方向や曲がり具合を決める、重要な要素なのである。

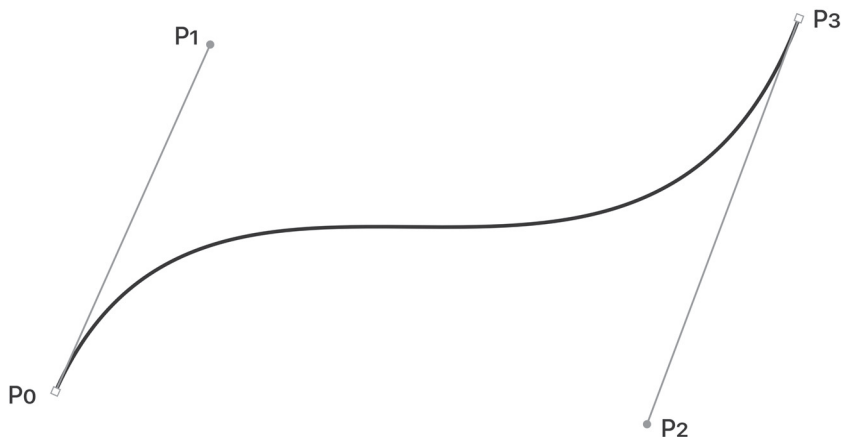


Fig. 1

2-2. De Casteljau のアルゴリズム

De Casteljau のアルゴリズムは、ベジェ曲線上の任意の点を幾何学的に導出するための、数値的に安定した再帰的補間手法である。このアルゴリズムは、指定されたパラメータ t に対し、制御点同士の線形補間を段階的に繰り返すことで、曲線上の1点を逐次的に構築していく手法である。以下に、Fig. 1上の制御点 (P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3) におけるアルゴリズムの具体的な手順を示す (Fig. 1-2~4)。

1. 第1段階の補間

$$P_0^1 = (1-t)P_0 + tP_1$$

$$P_1^1 = (1-t)P_1 + tP_2$$

$$P_2^1 = (1-t)P_2 + tP_3$$

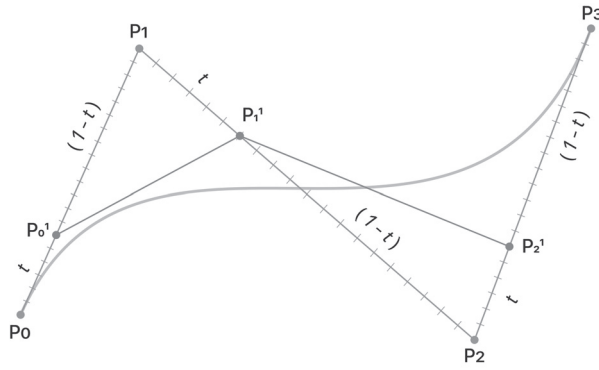


Fig. 1-2

2. 第2段階の補間

$$P_0^2 = (1-t)P_0^1 + tP_1^1$$

$$P_1^2 = (1-t)P_1^1 + tP_2^1$$

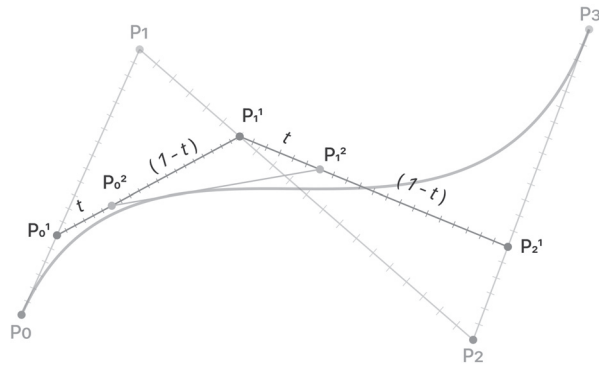


Fig. 1-3

3. 最終の補間

$$P_0^3 = (1-t)P_0^2 + tP_1^2$$

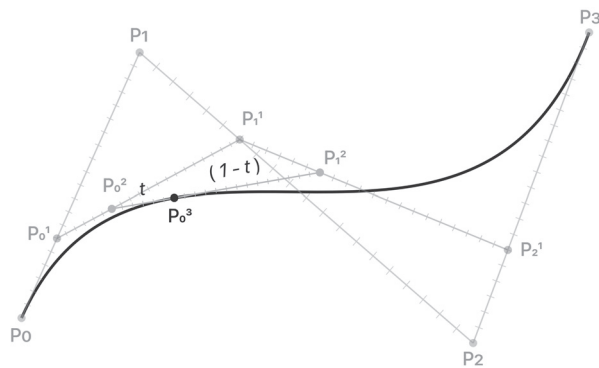


Fig. 1-4

このとき得られる点 P_{03} は、3次ベジェ曲線上のパラメータ t に対応する点であり、曲線 $B(t)$ の定義に一致する。すなわち：

$$B(t) = P_0^3$$

Adobe Illustrator などのグラフィックソフトウェアでは、この t の値を 0 から 1 まで連続的に変化させながら、前述の補間計算を高速に繰り返し実行する。その結果として得られる多数の点を連結することで滑らかなベジェ曲線が描画される。デザイナーが普段「線」として扱っているパスは、数的に定義された連続的な補間処理の視覚的結果であり、ユークリッド幾何学の「線は点の集合」であり、またクレーの言う「線は点が移動した軌跡」とも言えるであろう。

3. 物理的スプライン曲線との比較実験

3-1. 緒言

スプラインとは、製図に用いられていた柔軟性と弾性を併せ持つ細長い板を指す。これを複数の点で支持することで、板は物理的な復元力により、各支持点を通過する自然で滑らかな曲線を形成する。この物理現象を数的に定式化したものがスプライン曲線であり、ベジェ曲線もその一種として分類される。

この古典的なスプラインを再現し、デジタルデータと比較することで、ベジェ曲線に新しい視点を設けることを目的とする。具体的には、物理的な素材を用いてスプライン曲線を作り、その形状をデジタル上でベジェ曲線でトレースすることで、両者の構成要素における相関および差異を考察する。

3-2. 実験方法

物理的なスプライン曲線を生成するため、以下の手法を用いた。

壁面に900mm 角の板を設置する。

支持点として釘を打つ。

弾性材として、竹ひごを使用する。

曲線生成：複数の釘（支持点）に竹ひごを沿わせ、その張力によって自然な曲線を形成させる。

データ化：生成した物理的曲線を写真撮影し、Adobe Illustrator 上でトレースすることにより、ベジェ曲線にする。

3-3. 結果と考察

実験の結果、物理的なスプライン曲線を固定する支持点（釘）は、ベジェ曲線におけるアンカーポイントとして機能することがわかった。一方で、ハンドルの長さとの関係性を

見出すことはできなかった。この要因として、物理的スプライン曲線は全体のエネルギー最小化を通じて形状が決定されるのに対し、ベジェ曲線はハンドルによる局所的な制御によって曲率が決定されるという生成原理の違いが挙げられる (Fig. 3-1)。

また、竹ひごは無理に曲げると「折れる」という物理的な限界があった。



Fig. 3-1

3-4. ニトリルゴムによるスプライン実験

次に、より柔軟なニトリルゴム丸紐（硬度72°）を弾性材として用いた。ゴム紐は自重を支える剛性を有していないため、両端をテープで固定し、釘による支持点を通して曲線を形成した。

3-5. ニトリルゴム実験の結果と考察

ニトリルゴムによるスプライン曲線は、竹ひごほどの剛性がないため、重力によるたるみが曲線形状に影響を与えた。その結果、釘やテープによる支持点だけではデジタル再現が不可能であり、最下点や中間点に追加のアンカーポイントを設ける必要が生じた。

この結果は、曲線の形成に、支持点による張力以外に重力が無視できない要因として影響しているためと考えられる。剛性の高い竹ひごでは、素材の復元力が支配的であるのに対し、柔軟なゴム紐では重力が作用し、支持点間の張力だけでは説明できない複雑な形状（カテナリー曲線とべへ曲線の複合）を生み出す。そのため、この重力による影響をデジタル上で再現するには、より多くの局所的なアンカーポイントが必要になったと考察される。(Fig. 3-2)

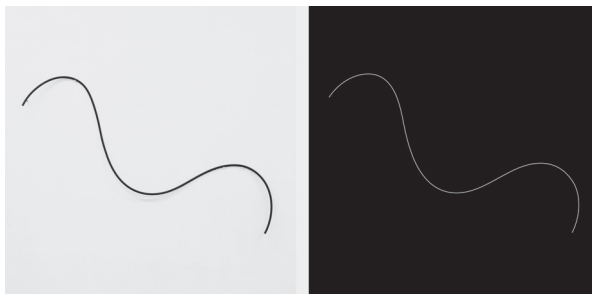


Fig. 3-2

3-6. ウレタンゴム実験

重力の影響を受けず、かつ破断せずに自在な曲線を描画できる素材として、次にウレタンゴム丸紐（硬度90°）を弾性材として採用した。ニトリルゴムよりも高い硬度を持つこの素材を用いることで、新たな特性の検証を試みた。(Fig. 3-3)

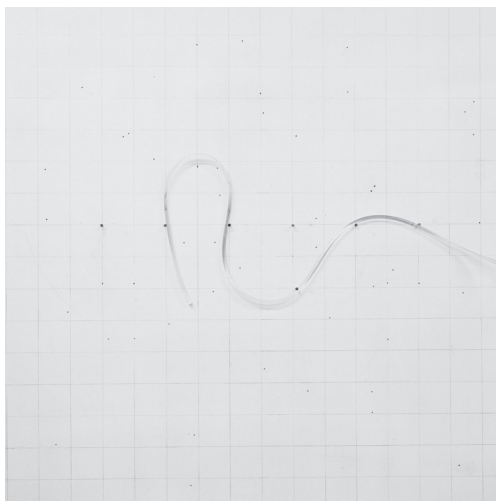


Fig. 3-3

3-7. ウレタンゴム実験の結果と検証

ウレタンゴムを用いた実験では、竹ひごやニトリルゴムとも異なる特性が確認された。硬度90°のウレタンゴムは、ニトリルゴムと異なり、素材のテンションのみで自重を支えることが可能であった。さらに、竹ひごのような剛直さもなく、素材の長さを支持点間の直線距離よりも長く取ることで、曲線に「膨らみ」や「たわみ」が生じる。これは、素材の復元力と余剰な長さが相互に作用し、張力だけでは決まらない、新たな曲線を形成することを示している。この「膨らみ」は、ベジェ曲線におけるハンドルの操作によって生まれる曲率の変化のようである。

3-8. 総括と考察

一連の物理的スプライン実験を通じて、デジタル描画におけるベジェ曲線の抽象的な特性を、物理現象との対比によって以下のように再定義できる。

非破断性：竹ひごは折れるが、ベジェ曲線はどんなに曲げても壊れない。

無重力性：ゴムは重力でたるむが、ベジェ曲線に重力はかからない。

長さの非拘束性：物理的な素材は長さが決まっているが、ベジェ曲線の「長さ」は描画された結果にすぎず、形を拘束する要因とはならない。

制御の局所性：物理的なスプラインは一点を動かすと全体に影響するが、ベジェ曲線はハンドルを動かしても、影響するのは隣接する部分だけである。

時間概念の不在：物理的な素材は、形が安定するまでにわずかな「時間」を要するが、ベジェ曲線は計算によって「瞬時」に形が決定される。

これらの特性は、ベジェ曲線が物理法則から解放された、純粹に数学的な概念であることを示している。デザイナーは、この非物理的な自由度を活用し、現実ではありえない滑らかな線や形を無意識のうちに創造している。

4. 物理的なしなりを翻訳するインターフェイス

4-1. 仮説

竹ひごを曲げるとき、手に伝わる「応力」を描画に反映できれば、もっと身体的で自然な線が描けるのではないかと考え、マウスに伸縮性のある布を取り付け、マウスを移動させる際に弾力が反映される入力装置を作った (Fig. 4-1)。



Fig. 4-1

4-2. 結果と考察

上記のマウスで描いたベジェ曲線 (Fig. 4-2) は、マウスを引く距離に限界がある、つまりハンドルの長さが制限されるため、不自然な曲率にはならない、ナチュラルなベジェ曲線を生成するのに役立った。ただし、結局は描き手の力加減でコントロールできてしまう部分も多く、完全な身体性の翻訳には至らないと感じた。

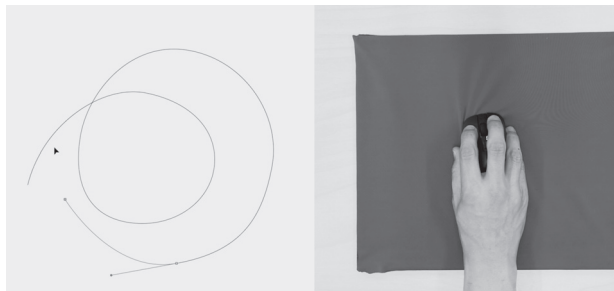


Fig. 4-2

5. 糸モノタイプの表現

5-1. 試作手法

ここまでの実験と考察を踏まえ、ベジェ曲線の持つ数学的な特性を、物理的な制約を持つアナログ手法によって再解釈する表現を試みる。ここでは、ベジェ曲線のアナログ的な代替手法として、糸を用いた表現の試作を行う。

具体的な手法として、インキを塗った糸をプレート上に並べ、その上から紙を重ねてプレスするモノタイプを使用した（Fig. 5）。



Fig. 5

5-2. 試作結果

印刷した結果として、ドローイングのような、デジタルのようなどちらとも言える不思議なラインを生み出すことができた。ただし、インキのかすれやにじみといった、いわゆる味のようなものはここでは評価の対象としない。

6. ベジェ曲線の表現実験

6-1. 実験1

花瓶の花をベジェ曲線でトレースし、その構造（アンカーポイントやハンドル）を意図的に操作することで、新たな視覚表現の可能性を探る。

A ハンドルを抽出する

ベジェ曲線の最大の特徴である「ハンドル」に注目し、これをパスとして可視化する。元の形状から曲線構造を抽出し、ハンドルの配置だけで元像の痕跡がどこまで残るかを検証する。

B 重力を与えてみる

すべてのハンドルを垂直に変更することで、線に重力を与えられるのではないかと仮定した。

C パスの長さを固定する

ベジェ曲線は、アンカーポイントとハンドルによってセグメントの長さが決定されるが、セグメントを任意の長さに固定することで、ウレタンゴムスプラインのような特異な曲線を生むことができるのでないかと仮定した。パス長を取得し、アンカーポイントの位置を固定したまま任意の長さに変更するプラグインを作り、花の輪郭線に適用した。

D 重力 + 長さ

BとCの組み合わせにより、重力の方向性と長さ制約の両方を課すことで、より物理的制約を強く受けた曲線の生成を狙う。

E ハンドルの長さを2倍にする

各ハンドルの長さを2倍に延長することで、曲線の誇張を試みる。

6-2. 実験1の結果と考察

元の花の輪郭線から、アルゴリズムを適用してどのように変容するかを試す実験だったが、それぞれの結果としては狙い通り一定の効果、表現としての幅を拡張することはできている。しかし、アルゴリズムでは本来の目的から少しずれると感じたため、別の手法を試すこととした。

6-3. 実験2

トレースした輪郭線を消去し、感覚的に描いてみる表現を試みた。

F 斜線

斜線を引くことで、花に見えるよう描く。

G 幾何図形

幾何図形を用いて花を描く。ここでは円を用いた。

H 自由な線

4章で制作したインターフェイスを使用し、自由なドローイングで花を描いた。

6-4. 実験2の結果と考察

それぞれ、表現やデザインの観点からは成り立っているが、本来の目的である線の存在や新しい関係性を生むわけではない。

6-5. 最終的な考察：線が「面」になるとき

ここで、物理的な線とベジェ曲線の決定的な違いの一つとして、「線幅を自由に設定できる」という特性に着目した。

長さ100mmのパスも、線幅を1mmに設定すれば細い「線」に見える。しかし、線幅を100mmにすると、それは「正方形の面」になる。データとしては一本のパスであるが、画面に現れるのは四角い面である。このふるまいは、点が移動して線になり、線が移動して面になるというクレーの考え方とは、全く異なる成り立ちで「面」が生まれていることを示している。身体的な感覚から切り離された、デジタルならではのこの特性にこそ、新たな造形表現の可能性が秘められているのではないかと考え、生成から存在へと思考方法をシフトしてみた。

7. 描画から配置へ

前章で述べた、線幅の操作によって一本のパスが「線」にも「面」にもなりうるという事実は、クレーの身体的な造形思考とは根本的に異なる、デジタルならではの存在論を浮き彫りにできる。Illustrator上で我々が「線」として認識しているものは、実のところ、厚みを持たない数学的な軌跡である「パス」に「線幅」という属性を与え、パスを中心線とする細長い「面」に他ならない。パス自体は、厚さも面積も持たないゼロ次元的な存在であり、それ単体では視覚化できない。我々が常に見ているのは、このパスという骨格が生み出す「結果としての線もしくは面」である。

この認識のズレは、Illustratorが用いる「線 (Stroke)」という用語が、クレーの言う根源的な造形要素としての「線 (Line)」との混同を生んでいる点にも起因する。ソフトウェアのUIにおける「線」は、あくまで「塗り (Fill)」と対になる属性の一つに過ぎない。しかし我々はこの用語によって、無意識のうちに物理的な描画行為のアナログとして捉えてしまうのである。

ここに、Illustratorにおける造形行為の本質的な転換が見出される。すなわち、Illustrator上での行為は、身体の軌跡を記録する「描画」ではなく、完結した数学的オブジェクトであるパスを画面上に「配置」していく構成的な行為である、と捉え直すことができるかと仮定する。

8. 新たな造形思考との接続

この「配置」という考え方は、アンリ・マティスが晩年に到達した「切り絵」の思想と接続する。マティスは「Le contour n'est pas la limite d'un corps, mais une façon de saisir sa présence. (線は「感情の翻訳」であり、対象の外形ではない。)¹⁾と述べた。これは、グラフィックデザインの持つ抽象性につながる重要な指摘である。また、「Je ne trace pas le contour, je le sens intérieurement; le contour est la condensation d'une

sensation. (輪郭線は「外形の縁取り」ではなく、形の“選択”と“要約”である。)」という言葉から、次のような仮定を導くことができる。すなわち、クレーは線を「運動」の軌跡、つまりは野性的・本能的なものとして規定したが、グラフィックデザインにおける線とは、知性的かつ計画的に生成される「意志・意図」の現れであると考えることができる。ここでは、線と面は対立するものではなく、同一の生成原理に属するものとして扱うことができ、線にするか面にするかさえデザイナーの「意図」によって自由に選択することが可能となる。

この仮定を基盤とすれば、Illustrator における線は、パスというオブジェクトに与えられた属性の結果であり、その本質であるオブジェクトをどう生成し、どう扱うかが主題となる。これにより、線の生成論から、グラフィックデザインの抽象性まで射程に含めることが可能である。

9. 試作：線を「置く」ことによる花の生成

これらの考察に基づき、6章とは全く異なるアプローチで花の試作を行う。「花を描く」のではなく、「花を構成するであろうオブジェクト（パス）を、一つひとつ画面に『置いていく』』という方法である。

この試作では、個々のパスはそれぞれ自体が固有のフォルムを持つ自律したオブジェクトとして扱われる。そして、それらが画面上に配置され、隣接し、重なり合うことで生まれる関係性が、全体として花のイメージを立ち上がらせる。これは、線をなぞるトレースではなく、面の配置によってフォルムを構築する試みである (Fig. 9-1~4)。

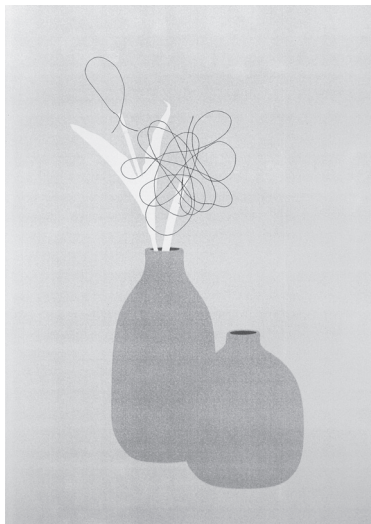


Fig. 9-1

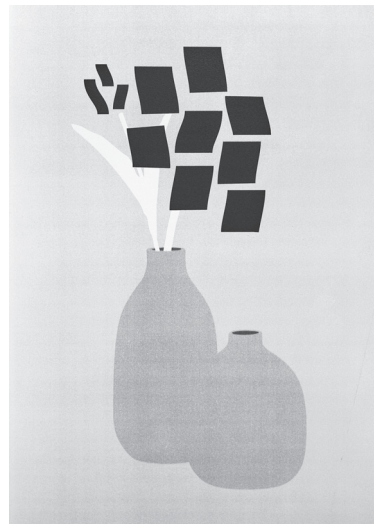


Fig. 9-2



Fig. 9-3

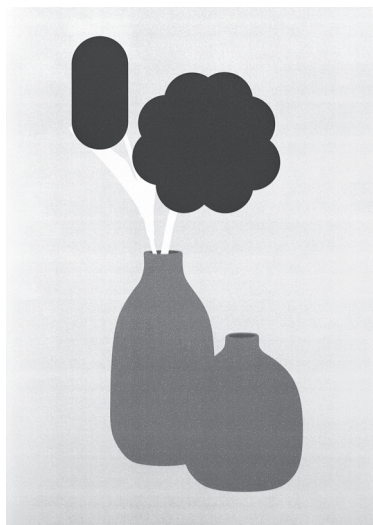


Fig. 9-4

10. 結論：フォルムと関係性の探求へ

本研究は、ベジェ曲線というデジタルな線の成り立ちを、物理的なスプライン曲線との対比によって明らかにし、その非身体性、非物理的な特性を浮き彫りにした。そして、Illustrator における「線 (Stroke)」と「面 (Fill)」の可変的な関係性から、その造形行為が本質的に、身体的な「描画」ではなく、抽象的なオブジェクトを知性的に「配置」する行為に、身体性と物質性を再構築することを見出した。

岡崎乾二郎は、絵の具を塗るという行為を超え、絵画を構造的に成立させるための、意識的かつ決定的な行為として絵の具をキャンバスに置く。これは、絵の具を単なる色彩としてではなく、物質的な存在として捉え、その配置の関係性によって空間や時間の重層性を構築する。このことを Illustrator 上で起こることに写してみると、自律した存在として一つは文字、もう一つはオブジェクトとしてのパスであり、それらをどのように配置するか、その関係性がグラフィックデザインの原素になると言える。ここでは、絵の具の物質性はパスのフォルムへと変換することができる。

このことから、ベクターグラフィックにおける真に重要な探求とは、物理的な線の模倣や、身体性の再現ではない、という仮説が導かれる。むしろ、個々のパスが持つ固有の「フォルム」をいかに生成させ、それらを配置することで生まれるオブジェクト同士の「関係性」をいかに構築していくかを、次のテーマとして本稿を締めたい。

注

1) Henri Matisse, in Jack Flam, ed., *Matisse on Art* (Berkeley: University of California Press, 1995), 58.

参考文献

- インゴルド、ティム『ラインズ 線の文化史』、工藤晋訳、左右社、2014年
- 岡崎乾二郎『抽象の力 近代芸術の解析』、亜紀書房、2018年
- カンディンスキー、ヴァシリー『点・線・面』、宮島久雄訳、中央公論美術出版、2018年
- クレー、パウル『教育的スケッチブック』、土方定一・菊地一雄訳、中央公論美術出版、1973年
- クレー、パウル『造形思考』、土方定一・菊地一雄・坂崎乙郎訳、みすず書房、1972年
- マティス、アンリ『画家のノート』、二見史郎訳、みすず書房、1978年