

# ロボットはコンピュータの夢をかたちにするか？

竹中司+岡部文/アンズスタジオ



fig.1 アルタミラ洞窟の壁画

Do Robots Realize Computational Dream? **ROBOTICS**

## はじめに

……芸術作品は作る者や見る者という二本の電極からなっていて、ちょうどこの両極間の作用によって火花が起るような、何ものかを生み出すのだ。(マルセル・デュシャン)

薄暗く低い天井。ひんやりとした洞窟を進んだ先に、その絵が描かれている。ウンやインシン、ウマなどの姿が、岩の凹凸に合わせてようにして立体的に描写された様は、壁画というよりも彫刻的で力強く、その線は驚くほどに躍動的だ。何者かが、何かのために記録した、約一八〇〇年前の絵画である。スペイン北部、サンタンデルから西へ三〇kmほどのサンテリャーナ・デル・マル近郊にある、**アルタミラの壁画**だ。(註1)。ここでも、純粋な、のびやかな草原に、こころもいと現れる小さな丘。入り口に行んだ木々が、まるで洞窟を守っているかのようにも見受けられた。

洞窟壁画は、人間の知能の誕生と非常に深い関係にあるのだという。対象を抽象化しようとする意識や、美しさを捉えようとする行為は、人間と動物を区別する最も大きな要因だからだ。旧石器時代に生きた私たちの祖先が、この暗い洞窟の壁面に触れながら描きだした動物たちの様は、ダイナミックで、息を呑むほどに美しかった。

芸術とは何か。美術とは何か。そもそも、美しきとは何か。それらは、とても感覚的なものであり、かつ直感的で、説明することが困難な、極めて扱いにくいものとされてきた。何故ならば、それらの本質は、対象物を客観的に「見る」ようにする視点と、私たち自身の感覚に宿る主観的な視点との、相互の対話

から生まれるものだからである。それでもなお、人はそのメカニズムを探求しようと努力する。そうした潮流が美学という分野を切り開いてきた。そして近年では、これを科学的に解明しようとする「**神経美学**(Neuroaesthetics)」という分野にも注目が集まってきた。

昨年、**ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドン(UCL)の神経生物学研究所**から発表された論文<sup>2)</sup>によると、「美」を感じる脳の部位が発見された。この「美」は美しいと感じた時に、「内側眼窩前頭皮質」と呼ばれる領域で血流量が増加し、その働きが平均で約三五%活発化するという。感覚的感情は客観的に測定できないとされてきた科学の世界に、大きな衝撃が走ったのである。

## ○エンタローと芸術

芸術、あるいは美しさを論理的に説明しようとする試みは、一九六〇年代から七〇年代にかけて多くの事例が集中している。ちょうどバーナナルコンピュータが登場する前後のこと、建築界においては、モダニズムが終盤を迎え、ポストモダニズムが姿を現してきた頃である。人と機械との関わりが深くなるにつれ、人は、人を人たらしめる芸術の「**根源にある感覚**」を読み解こうと考え始めるのかもしれない。

そうした事例のひとつに、心理学者**ルドルフ・アルンハイム**氏の「秩序と無秩序に関する考察」がある。氏の考え方は、一九七一年に出版された「**エンタローと芸術**」<sup>3)</sup>と題した本にまとめられ、当時のアメリカで二万部の売上げを記録するほどに、大きな注目を集めた。エンタローとは、簡単に言えば「**複雑さ**」の尺度である。もともと

とは、ドイツの物理学者**ルドルフ・クラウジウス**氏が一八六五年に導入した熱力学における概念で定義したものだ。これを芸術の世界に引用し、**馴染した美しさ**に宿る「秩序づけられた複雑さ」の存在意義を説いている。

**熱力学第二法則**によると、人類がお手本としてきた自然界の「**生物**」のシステムは、**無秩序**(エンタロー)増大の方向に進んでいるという。この事実に対して、アルンハイム氏は、我々人類が創造する「**無生物**」の目指すべきは秩序なのか、あるいは無秩序なのかと問いかけるのだ。注目すべきは、彼が導き出した「**秩序づけられた複雑さ**」という言葉である。芸術の美しさに宿る真の秩序は、複雑さからなる秩序であり、単なる単純さを目指した「**秩序らしさ**」とは区別されるべきものだと言っている。

## ○シエイン・グラマー

青、赤、オレンジ、黄色の四色のアクリル絵の具で描かれた、幅約一四五cm、高さ約七六cmの抽象絵画。この一枚のキャンパスの前に立つ二人の若者たちと、後に「建築界に大きな影響を与えた」となるシエイン・グラマー<sup>4)</sup>という言葉を生み出した人物たちである。fig.2。

「**エンタローと芸術**」が出版された一年後の一九七二年、数学者の視点から絵画や彫刻を生み出す思考のプロセスを可視化しようとする試み「**絵画と彫刻におけるシエイン・グラマーとジェネレーティブ・スペシフィケーション**」と題した論文が発表された。その著者が、**ジョージ・スタイナー**氏<sup>5)</sup>と**ジェームス・シップス**氏<sup>6)</sup>である。彼らは言語学者である**ノーム・チョム**



fig.5 コンピュータプログラムによって生成されたトポシカル・グリッド

トポシカル・グリッドとは、しばしば面白く結果を導く。例えば、まったく異なる形の建築であっても、空間関係性の枠組みが「トポシカルに同じ」場合が見えてくるのだ。さらに、は、各々の建築家が無意識のうちに導き出している空間の扱い方に、ある種のスタイルを見い出すことができる。

○形の可能

松川氏は、このトポシカル・グリッドを用いて、かたちのデータベースを制作中だ。かたちのデータベースとは「膨大な形の可能態を情報環境にデータベース化したもの」であるという。思考のプロセスにおいて、我々が頭の中で描いていた多様な可能態。これに「コンピュータの力を加算することによって、その可能性をさらに拡張し、思考のパターンを全列挙した。いわば関係性の図書館なるものを

トポシカル・グリッドとは、しばしば面白く結果を導く。例えば、まったく異なる形の建築であっても、空間関係性の枠組みが「トポシカルに同じ」場合が見えてくるのだ。さらに、は、各々の建築家が無意識のうちに導き出している空間の扱い方に、ある種のスタイルを見い出すことができる。

○形の可能

松川氏は、このトポシカル・グリッドを用いて、かたちのデータベースを制作中だ。かたちのデータベースとは「膨大な形の可能態を情報環境にデータベース化したもの」であるという。思考のプロセスにおいて、我々が頭の中で描いていた多様な可能態。これに「コンピュータの力を加算することによって、その可能性をさらに拡張し、思考のパターンを全列挙した。いわば関係性の図書館なるものを

○自己組織性

自己組織性とは、簡単なルールから自律的「秩序」を持つ構造をつくり出す現象のことである。こうした現象は、自然界の中に様々な事例を見付けることができる。例えば、雪の結晶の形、鳥やアリの群れの形、さらには脳の細胞やDNAの構造などがあげられる。単純なルールを繰り返すことによって、結果的には複雑さの中に秩序だった状態を生成することができるのだ。複雑系の分野ではカオスの縁(Edge of Chaos)と呼ばれる。秩序と無秩序のバランスがとれた状態である。ハンスマイヤー氏は、そうした自然界の形の生成原理に目を向ける。まるで樹木が小さな枝分かれを繰り返すことで、大らかな全体像を生み出しているように、形の源となる根本的な文法を設定することによって、建築の全体像を自ずと導き出すのだ。単純なメッシュからスタートし、これにメッシュ・グラ

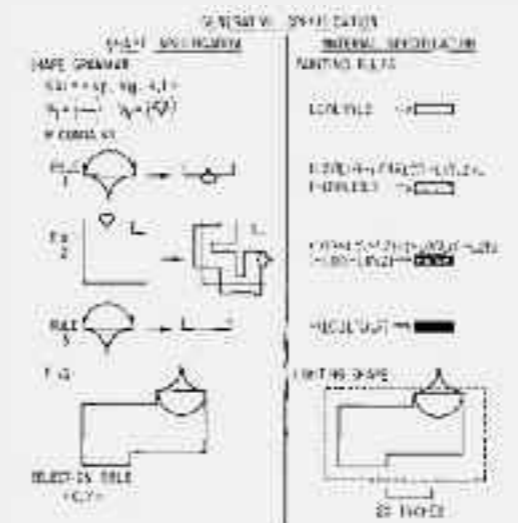


fig.4 ジェネレーティブ・スペシフィケーションの概念図



fig.3 シェイプ・グラマーによる制作工程



fig.2 スタイニー氏とジップス氏 (1970年)

トポシカル・グリッドとは、しばしば面白く結果を導く。例えば、まったく異なる形の建築であっても、空間関係性の枠組みが「トポシカルに同じ」場合が見えてくるのだ。さらに、は、各々の建築家が無意識のうちに導き出している空間の扱い方に、ある種のスタイルを見い出すことができる。

思考の可視化  
松川氏は、このトポシカル・グリッドを用いて、かたちのデータベースを制作中だ。かたちのデータベースとは「膨大な形の可能態を情報環境にデータベース化したもの」であるという。思考のプロセスにおいて、我々が頭の中で描いていた多様な可能態。これに「コンピュータの力を加算することによって、その可能性をさらに拡張し、思考のパターンを全列挙した。いわば関係性の図書館なるものを

思考の可視化  
松川氏は、このトポシカル・グリッドを用いて、かたちのデータベースを制作中だ。かたちのデータベースとは「膨大な形の可能態を情報環境にデータベース化したもの」であるという。思考のプロセスにおいて、我々が頭の中で描いていた多様な可能態。これに「コンピュータの力を加算することによって、その可能性をさらに拡張し、思考のパターンを全列挙した。いわば関係性の図書館なるものを

思考の可視化  
松川氏は、このトポシカル・グリッドを用いて、かたちのデータベースを制作中だ。かたちのデータベースとは「膨大な形の可能態を情報環境にデータベース化したもの」であるという。思考のプロセスにおいて、我々が頭の中で描いていた多様な可能態。これに「コンピュータの力を加算することによって、その可能性をさらに拡張し、思考のパターンを全列挙した。いわば関係性の図書館なるものを

思考の可視化  
松川氏は、このトポシカル・グリッドを用いて、かたちのデータベースを制作中だ。かたちのデータベースとは「膨大な形の可能態を情報環境にデータベース化したもの」であるという。思考のプロセスにおいて、我々が頭の中で描いていた多様な可能態。これに「コンピュータの力を加算することによって、その可能性をさらに拡張し、思考のパターンを全列挙した。いわば関係性の図書館なるものを

思考の可視化  
松川氏は、このトポシカル・グリッドを用いて、かたちのデータベースを制作中だ。かたちのデータベースとは「膨大な形の可能態を情報環境にデータベース化したもの」であるという。思考のプロセスにおいて、我々が頭の中で描いていた多様な可能態。これに「コンピュータの力を加算することによって、その可能性をさらに拡張し、思考のパターンを全列挙した。いわば関係性の図書館なるものを



fig.10 流体シミュレーションから導き出されるスキーマ・グラマー



fig.9 Geometric Death Frequency-141



fig.13 スポット・ブルーイング



fig.12 2台のKUKAロボットによる制作風景



fig.11 大量の球体による施工の様子

をいかにどのようにつなぎ合わせるかを考えた。このように積み重ねていったらどうなるか。

この気の遠くなるような作業を行ったのは、1台のKUKA社製垂直多関節ロボット(KR10)とアンダーアームロボット(KR20)。そのアーティキュレートロボットの対話を促すRobo.dと名付けられたJava言語ベースのプログラムである。繊細かつ美しい制作プロセスもまた作品の一端として再現された。MASS MoCAの室内に展示された。透明のチューブ内を駆けるようにして運ばれ、器の中に投入される艶やかな黒い球体。この球体を繊細に積み上げるのは、対面するよう配置された2台の産業用ロボットである。吸着パッドの吸引力を真空クリップを用いて球体を持ち上げ、アームをへらして旋回させる。接着剤を数箇所正確に塗布(スポット・ブルーイング)して、fig.12, 13。任意の位置に配置された球体は固定したままの状態に接着が完了するまで、空気圧によって優しく離されるプロセスである。ロボットの制作工程には、約3ヶ月が費やされた。こうした一連の作業で最も問題となったのは、ロボットアームの稼働許容範囲と接着の工程だ。とりわけ接着強度に関してには繊細な注意を払う必要がある。なぜなら最終的な構造強度もまた大きく関わっているからである。そのため接着剤や液体状の接着剤の活性剤の開発が不可欠。球体や球体を搬送するための吸着や積み上げる軌道の最適化などにも注意深く開発された。

彼の最新作「Outside itself」におけるロボットは、球体の進化をみせている。労働者の代役として従事するに留まらず、刻々と変容する物質と情報のインタラクティブな対話を手助け

するのだ。「我々の身体的限界を越え、人類の能力を拡張する」ことができる。感覚(senses)を広げる手となるのである。——ディアス氏は、クリエイターとしてのロボットの存在が、単なる道具としての認識を越えていくことを示唆している。

設計プロセスにおいて、最も魅力的な工程のひとつは「スケッチを描く」こと。手を動かしながら、繰り返して、手を納得のゆく形へと導く。この試行錯誤のプロセスは、変容する多様な条件を整理しながら、ひとつひとつの関係性を描き出すことで、頭の中の思考を可視化する手段でもあり、

「ひとつの多々の時間を有した魅力的なスケッチの数々は、手書きの図面やCAD、あるいはBIMによって作図され、形態として記述されるのである。それらの工程は、あたりまえの日常業務のようにも感じられるが、筆者は、この間に極めて大きな危険があることを感じる。何故ならば、そこには魅力的な思考のプロセスが、球体や球体落下の形態のみが記録されたかたちである。作図された形は、思考の中で描かれたカタチは、必ずしも同意ではない。このようにして進化を遂げた今日のCADであっても、解決には至っていない。これを解決するひとつの糸口となるのが、シミュレーションである。計算の力を借りて、頭と手の協奏を、思考のプロセスを記録する手助けが、シミュレーションの本質なのである。そして今、コンピュータの進化に伴って、これまで扱えなかったものの

最も豊かな設計プロセスが、再帰的な思考の世界として実現化してきている。それは工学的視点によって支えられた思考であり、そこには、目のスタイルを根本に持ちながらも、様々な情報と対話できる雄弁な建築家たちの姿が垣間見える。そんな大らかな建築が描く未来は、実に明るく爽快に感じられる。

\* 1 Ishizu, T. and Zeki, S. 2013. The brain's specialized systems for aesthetic and perceptual judgment. *European Journal of Neuroscience* Vol.17, 1413-1420.

\* 2 大塚隆夫・アラン・ド・ソト・タケタカ・植野の龍彦(2017)「人工知能の心理的知能」『人工知能(朝日社)』

\* 3 「エンローブ」(芸術)「タル・マレン」(建築)『建築(朝日社)』

\* 4 シム・ス・クワン・ド・ホアン(2017)「エンローブ」(建築)『建築(朝日社)』

\* 5 シム・ス・クワン・ド・ホアン(2017)「エンローブ」(建築)『建築(朝日社)』

\* 6 共生・調音する技術開発を専門とする研究者。\* 7 ノーム・トーマス・キーン: 現代言語学者の父とされた言語学者。

\* 8 マウリツィオ・ミチエリ: 建築家。\* 9 サヤン・ラマクリシュナの要約をまとめた書籍。

参考文献

Digital Grotesque : <https://vimeo.com/68364565>

Geometric Death Frequency-141 : <https://vimeo.com/16019145>

図説

fig.1 From wikipedia Commons /File: Mathiaska-bell 10.18.3 November 2007 (UTC) Parishes

fig2 License = CC-BY 2.5

fig2 George Shry and James Glips

fig.3-4 Siny, G. and Glips, J. (1972) Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. In Feilchen, C.V. (ed.) *Information Processing 77*. Amsterdam: North-Holland, 1464-1465.

fig.5 三浦雄策

fig.6-7 Hansmeyer / Dillenburger

fig.8 Hansmeyer, M. and Dillenburger, B. 2013. Mesh Grammars. *Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, 821-829.

fig.9, 11-13 Studio Federico Diaz

fig.10 Kurita, L. and Svoboda, L. (2013). *Geometry Optimization*. In Briell-Cohen, S. and Branaman, J. (eds) *Robo Arch 2012*. Wien: Springer-Verlag, 194-195.



fig.7 3DプリントされたDigital Grotesque

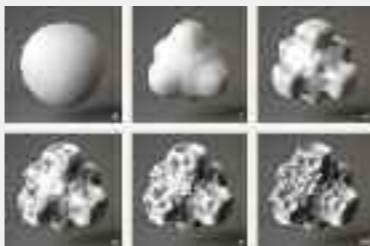


fig.8 自己組織型の形態生成モデル



fig.6 最新作Arabesque Wallのディテール

マーのルールを与えてゆくことで全体像を描き出してゆく。しかしながら、文法だけ設定してその後の作業は「コンピュータ任せ」というわけではない。何故ならば、彼らが美しいものを見出すことのできる形は、たったの0.1%しか生まれないからだ。残りの九九.9%は、混沌としたカオスの状態をつくり出すのである。

○オットー・ノット

Digital Grotesqueは、驚くべきことに約二億六千万個ものサーフェイスを持つている。それでもなお、秩序と無秩序の美しいバランスを保っている。それは、彼らが導き出したメッシュ・グラマーのデザインのプロセスにある。

ハンスマイヤー氏は、プリミティブな形態同士の関係性を扱ったシエネプ・グラマーの事例が、概念的提案にとどまらず、具体的な指針を示す。その上で、彼は建築形態を構成する「面」に注目し、面同士の関係性から形を導き出すメッシュ・グラマーを開発した。メッシュ・グラマーは、形の源となるメッシュの属性(辺の長さや構成面の平面度、曲率や半径など)を読み取り、形状を変化させるルールに沿って繰り返して変形を行うことで、自己組織的に面の集合体としての形を生成してゆくプロセスとなる。形状を変化させるルールとは、カーブの変形率、頂点の移動、面の分割などを示す。こうして生み出される形態もまた、ネットワーク化されたエレメントによって構成されたメッシュである。細胞分裂を繰り返すことで多様な姿を生み出す生物のよう、メッシュに埋め込まれた形態生成の指示書は、時として想像を越えた美しさを誕

生させる。その姿は、まるで意思を持つ生き物のようである。

建築のエレメントが、自ら意志を持つ。周囲の環境変化に対し、自身の形を柔軟に進化させながら空間を生成してゆく。——他分野にわたる自己組織性の研究は、いまだ始まったばかりであるが、本作品はそんな未来の仕組みを想像させてくれた。

PROJECT 03

○Geometric Death Frequency-141

時が止まったような静けさ。ものが動き出す。エネルギー。その両極端を同時に感じ取ることが出来る。何となく、一瞬の動きを、何かの力で止めてしまったかのような、不思議な世界に降り立ったかのような。——MASS MoCA(Massachusetts Museum of Contemporary Art)の中庭に突如として現れたのは「Particles」を投げつけられた無数の黒い球体からなる巨大なオブジェだ。fig.9。「Geometric Death Frequency-141」の名が付けられたそのダイナミックな彫刻の姿の裏には、水の粒子の動きをとらえた波のシミュレーション・タイプ・スパンション。彼の思想を実現へと導いた2台のロボットの力が潜んでいた。

この彫刻を手がけたのは、ブライアを拠点とする新進気鋭のアーティスト、フェデリコ・ディアス氏。九〇年代前半より、ディアス氏の興味は日常の自然環境に隠れた不可視な現象に向けられるようになる。特徴的なのは、科学とアートを同等に扱おうとする姿勢である。自然界に潜むアルゴリズム、アーティストとしての意識を、テクノロジーを介して同じレベルで扱おうとユニークな手法を模索している。こ

して生まれた彼の作品を、米国の建築評論家であるジェフ・キプリス氏は「re-orientation」で表現する。切り取られた自然界の現象に自らの解釈を与え、その全く新しい美しさを導き出すという試みである。

○現象の文法化

水の動きが生み出すダイナミックな現象をどのように捉える視点は、波の形態を単に模倣するのではなく、抽象化する従来の手法には留まりながら、自然界の形の中に潜む、水のゆるまいを工学的に解析し、カタチを構成する文法(スキーマ・グラマー)に取り込み、試みているのだ。

流体シミュレーションから導き出される水の動きを数値として捉え、これを球体(シエネプ・グラマー)で表現する工程で、彼の美意識と対話させてゆく。fig.10。波のダイナミズムを損なわないため、この新しい技術も開発された。磁石(ミネラル)を用いた自己組織的な最適化のアプローチもそのひとつだ。すべての球体にプラスまたはマイナスの磁気を与え、それらが互いに反応しながら相互の距離感を調整してゆく手法である。何度となくこれを繰り返すことによって、球体同士の距離をリアプリケーション、あるいは構造が許容する関係性へと導いてゆくのだ。

○身体的拡張

最終的に導き出されたのは、幅五・四m、奥行き一〇m、高さ四mの巨大なオブジェである。これを構成しているのは、直径四・七cm、重さ九gのABS樹脂製の球体だ。fig.11。これは約四二万個にも及ぶ、この大量のパーツ