

デジタル・モデュロール3

○渡辺 俊^{*1}

キーワード：ラ・トゥーレット修道院 モンドリアンパネル オンデュラトワール

1. はじめに

これまでの報告2編^{1) 2)}では、ル・コルビュジエがモデュロールI³⁾に掲載した6種類の羽目板遊びの解法について詳細に検討し、それらが如何に“組み合わせ爆発”を起こすかを確認してきた。

本報では、計算が間に合わず前報で漏れていた羽目板遊び4、5の解の総数とそれらの特徴を明らかにするとともに、モデュロールが細部に渡って適応されたことで有名な実際のル・コルビュジエ作品において、これまで検討してきた手法の応用を試みる。

2. 羽目板遊び

有限個の解を持つ羽目板遊びは、2、4、5、(6^{注1)})である。羽目板遊び2については、既に本研究で作成したPythonによる探索プログラムによりa)6種類12枚で1,449,912通り、b)4種類6枚で232通り、c)3種類9枚で315通りであることを報告している。

羽目板遊び4、5は、基本的に羽目板遊び2の拡張であるが、前報で確認した様に、幅が異なる5種類の配置枠に収めるパネルの構成パターンは予め与えられていない。まず羽目板遊び4で、5種類の定型パネル、2種類の帯(可変長パネル)、2種類の幅の扉(回転しないパネル)の中から、配置するパネルの組み合わせ(パターン)を重複を許して選択する。パネルの構成パターンは、それらの総面積が配置枠(1~5)の面積と一致することが必要条件であるが十分条件ではない。暫定的なパターンが実際に解を持つかどうかは、選択したパネルを総当たりで並べてみるほかない。

ル・コルビュジエは、モデュロールがデザインの可能性を制約しないことを示すために、羽目板遊び4で101のパターンを示し、その中から1つ(図1の赤枠)を選んで羽目板遊び5で48の解を示すことで、総計4848(101×48)の解を示したとしている。しかし、図1に示す様に、101のパターンの中から任意に抜粋して数えてみても、解の数はまちまちであり、これが誤りであることは明らかである。一方で、配置枠の幅が広がるほど構成するパネルの枚数が多いパターンも可能となり、羽目板遊び2で示した様に、構成によっては“組み合わせ爆発”が起きることになる。むしろ、全体としてはル・コルビュジエの想定を越えた解の総数になるであろう。

全ての解を求めるにあたり、総面積が配置枠の面積と一致する暫定的なパターンを全て求めた上で、各パターンで羽目板遊び2と同じ深さ優先探索のプログラムを実行した。ただし、この方法では、計算時間はパネルの枚数とともに階乗のオーダーで増えることになる。例えば、10枚構成の計算時間は潜在的には9枚構成の10倍時間がかかる可能性がある。実際、一番幅の広い5)の配置枠では、最大で13枚構成のパターンも存在したため莫大な計算時間を要し、全ての解の総数を1年がかりでようやく確定することができた(φは黄金比)。

幅	パターン数(暫定数)	解の総数
1) 1130 × φ	32 (207)	2,032
2) 2260	79 (560)	14,895
3) 2260 × 2 / φ	145 (1051)	39,084
4) 2260 × φ	429 (3072)	724,642
5) 2260 × 2	762 (6912)	8,373,890

一番広い5)の配置枠について、パターンを構成するパネルの枚数と解の総数の関係を、縦軸を対数として図2に示す。個々のデータを確認すると、7種類11枚のパネル構成で1072通り、7種類12枚のパネル構成でも97,268通りの解しか持たないパターンがある一方で、6種類11枚のパネル構成で162,936通り、6種類12枚のパネル構成で828,464通りもの解を持つパターンがある。一見似たようなパネル構成であっても解の数が大きく異なるため、使用するパネルの種類や枚数と解の総数の間に明確な関係を見いだすことはできない。しかし、

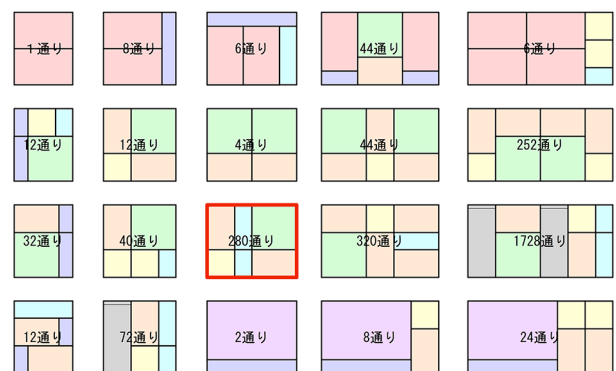


図1 パネル構成と解の総数

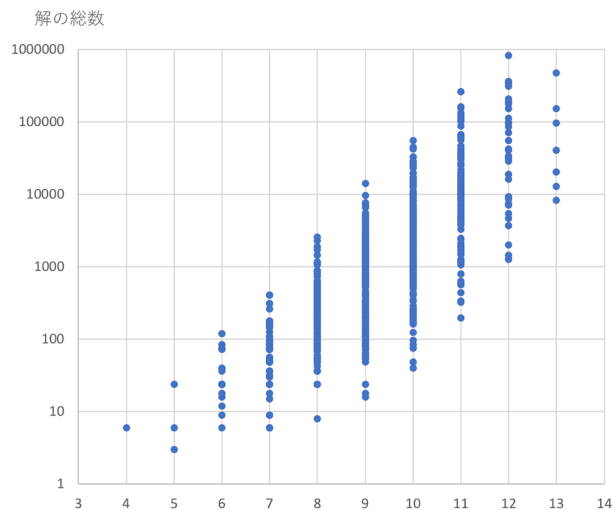


図2 パネル枚数と解の個数の関係

グラフを見れば分かる様に、同じパネル枚数の中では解の個数にはバラツキがあるものの、それぞれの最大数が指数関数的にきれいに増加していることは興味深い。

3 ラ・トゥーレット修道院

リヨン郊外の丘陵地に佇むラ・トゥーレット修道院は、ル・コルビュジエの晩年を代表する作品の一つとして、世界遺産にも登録されている。その設計には、当時セーヴル街35番地（ル・コルビュジエの設計事務所）で働いていた作曲家ヤニス・クセナキスが大きく関わっており、様々な寸法がモデュールにより決定されたことでも有名である。

同作品で目を引くものの一つが、開口部に施された意匠である。中庭側の開口部は基本的に2種類のモンドリアンパネル（市松状ガラス面）で構成され、そのデザインは羽目板遊びを連想させる。一方、外壁側および回廊側の開口部はオンデュートワール（波動リズム・ガラス面）で構成され、そのデザインが建物全体の印象を決定づけている。ル・コルビュジエ財団に保管されている図面（FLC）⁸⁾を詳細に検討することで、そのデザインプロセスの一部を垣間見ることができる。

3-1. モンドリアンパネル

モンドリアンパネルとは、文字通りピエト・モンドリアンが描いた抽象絵画のように、方形に区切った平面構成にガラス窓をはめ込んだプレファブの壁面である。具体的には、垂直方向（370cm）は3当分され、水平方向は概ね赤組の値（27, 43, 70, 113）を用いて区切られており、そのシルエットからHパネル、Zパネルと名付けられた。

クセナキスによる初期のスタディと思われる図面（FLC2551）を見ると、方形のパネルを上下2段に分



図3 修道院のモンドリアンパネル（筆者撮影）

けた上側だけを4種類の幅（a, b, c, d）で縦割した平面構成を描き、その組合せが24通りであることを丹念にリストアップして確認している^{注2)}。さらにFLC2552（1954/6/3）、FLC1328（1954/6/3）では、それらを並べた立面図を描いてみているものの、その後この構成を深く検討した図面は見当たらない。

モンドリアンパネルの原型と思われる上下3段構成のパターンは、FLC30507、FLC30508で登場している。ここでは、構成の組合せを検討することはせず、向きを反転させるなど、配置により変化を作り出そうとした痕跡が伺える。しかし、現場での建設が進む中でもデザインの決定や実施図面の作成は遅々として進まず、結局、配置などの工夫は行われないうまま、スパンに応じてパネルの幅を広げたり切りつめたりした派生タイプを並べるだけになった⁵⁾。

実際のモンドリアンパネルの様子（1階中庭側の外壁）を図3に示す。ル・コルビュジエは基本的に建具枠を嫌い、ガラスをコンクリートフレームに直接はめ込むディテールとしているため、両側のスリット部分には換気のために開閉できる仕組みと虫除けの網戸が内蔵されている⁶⁾。

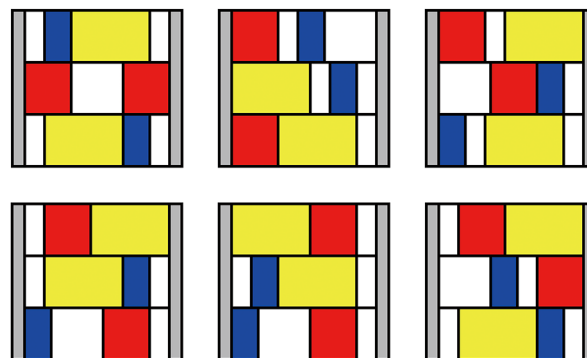


図4 Hパネルの組み合わせ例

モンドリアンパネルの構成は、本研究を通じて作成した探索プログラムにより様々なヴァリエーションを導出できる。例えば、H パネルと同等のガラス面による構成の組み合わせを全てを導出すると、その総数は 14904 通りとなり、先の 24 通りとは比べ物にならない可能性があることが分かる（図 4）。これだけのバリエーションがあれば、実は、当初目論んでいた様々な組み合わせによる空間の演出が検討できたであろう。

3-2. オンデュラトワール

クセナキスが初期に描いた FLC1034(1954/11/19) を見ると、外壁側の開口部も全てモンドリアンパネルで構成する案を検討していたことが分かる。一方で、ル・コルビュジェは彼の音楽的・数学的なセンスを評価し、モデュロールに基づく方立ての割付を依頼した。クセナキスは自身が描いた音楽と建築を融合させるイメージのエスキース (FLC2554) に基づき、モデュロールの数値を級数的に用いた水平方向の方立ての配置による開口部のデザインを FLC2557(1955/2/24) で完成させた。しかしその後、建物自体が 6 階建から 5 階建（地上 3 階、地下 2 階）へと変更されたことに伴い、その構成を全てやり直すこととなった。そのおかげで、最終的な図面 FLC2546(1956/11/20) では、上下階を跨いだ垂直方向の同期的な並置という新しいアイデアも加わることになった。

実際のオンデュラトワールの様子として、最も象徴的な西側立面を図 5 に示す。モンドリアンパネルと同様にガラスをコンクリートフレームに直接はめ込んでいるため、部分的にモンドリアンパネルのそれとは異なる換気用の仕掛けが組み込まれている。



図 5 修道院のオンデュラトワール（筆者撮影）

オンデュラトワールでは、基本的に赤組または青組の値を間隔に空けて 6cm 幅の方立てが配置されるが、その順序は全て感覚的という訳ではない。クセナキスはオンデュラトワールを構成する型を FLC6030(1955/6/23) で整理している^{注3)}。それに拠れば、赤組の値、青組の値、或いはそれらを交互に小→大→小とシンメトリーに配置したものを A 型、小→大（又はその逆）へと単調に配置したものを B 型として定義している。また A 型・B 型の幾つかを並置したものを C 型、さらにこれらの型を δ として赤組・青組の中から小さい値（13, 17, 20, 27）をランダムに配置した γ で挟んだものを D 型としている（図 6）。

一方、端数だらけのモデュロールの数値を手作業で組み合わせ決めて決められた開口幅に収めることは容易ではない。西側立面のオンデュラトワールの構成を検討した

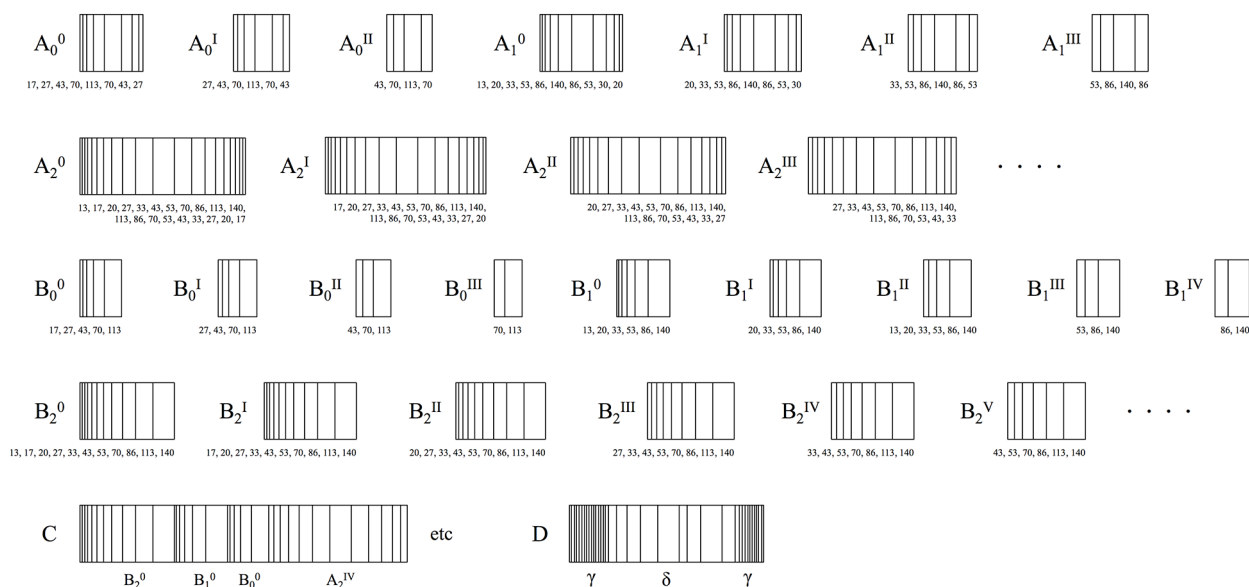


図 6 オンデュラトワールの型（FLC6030 に基づき作成）

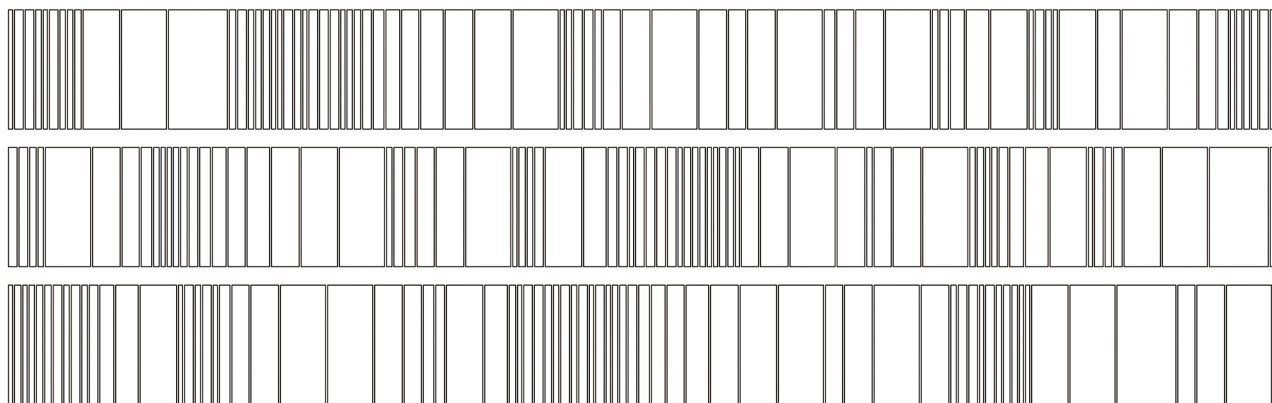


図7 オンデュラトワールの生成例

FLC31598でも、辻褄が合わず何度も計算し直した痕跡があり、最終的には一部モデュロールと異なる寸法を容認したことが確認できる。

定められた開口幅に収まるモデュロールの構成は、羽目板遊び4で検討したパネルの構成パターンと同様のプログラムで求めることができる。羽目板遊び4のような一定の面積に等しい組み合わせとは異なり、一定の長さに等しい組み合わせとして導き出されるパターンは必ず開口部に隙間なく収まる。図面より西側立面1階（写真では3層目）開口部の幅は3958cmなので、使用する型を限定しなければパターンも実は天文学的な組み合わせが可能である。また、実際に使われている8種類の型（ B_0^0 、 B_1^I 、 B_1^{II} 、 B_0^{III} 、 B_2^{IX} 、 B_1^{II} 、 A_1^{III} 、 B_2^0 ）^{注4)}については指定しγの組み合わせのみに限定しても21通りのパターンが存在する。実施案に最も近いγのパターン（13:9箇所，17:9箇所，20:6箇所，27:13箇所）を用いた場合でも、約 2×10^{32} 通りの配置が可能であり、プログラムにより様々なオンデュラトワールの構成を描き出すことができる（図7）。

4 おわりに

ル・コルビュジェはラ・トゥーレット修道院におけるクセナキスの仕事を高く評価し、自らも音楽的パン・ド・ベールと命名し、モデュロールⅡ⁴⁾の最終章で取り上げている。また、同デザインはその後の作品でも数多く用いられており、かつでは国立西洋美術館の1階壁面でも見ることができた^{注5)}。

ラ・トゥーレット修道院の設計に大きく貢献したクセナキスはモデュロールによる作曲を行なったことでも知られており、その後、図形を音楽に変換する電子音楽作成専用コンピュータ（UPIC）まで作り上げている。当時、今日のようなコンピュータ環境が整っていたならば、クセナキスも本研究の様なデザインスタディを試み、さらに変化に富んだモンドリアンパネルや完成度の高いオンデュラトワールを実現したに違いない。

本研究は、科学研究費補助金 基盤研究（B）「デザイン思考における記号操作の意味的構造と実践的役割に注目するデザイン知の探究」の支援を得て行われた。

[注]

- 注1) 羽目板遊び6については、構成するパネルの枚数をnとすると単純に5ⁿで求まる。
- 注2) さらに詳細に言えば、上側をさらに縦に2段に分けてはいるが、組み合わせ的には関係ない。
- 注3) 文献7では、オンデュラトワールが適用された23作品の中から4つの建物の実測調査を行い、型の適用について詳細に検討している。
- 注4) 型の解説については、一部に値の乱れもあるため文献7とは若干異なる部分がある。
- 注5) 増改築により、現在は西側の売店裏と北側の食堂の一部に残るのみである。

[参考文献]

- 1) 渡辺俊：デジタル・モデュロール、第39回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、日本建築学会、pp.269-272、2016年12月
- 2) 渡辺俊：デジタル・モデュロール2、第40回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、日本建築学会、pp.87-90、2017年12月
- 3) ル・コルビュジェ、吉阪隆正訳：モデュロール、美術出版社、1953
- 4) ル・コルビュジェ、吉阪隆正訳：モデュロールⅡ、美術出版社、1959
- 5) セルジオ・フェロ他、青山マミ訳：ル・コルビュジェ ラ・トゥーレット修道院、TOTO出版、1997
- 6) 加藤道夫 監訳：ディテールから探るル・コルビュジェの建築思想、丸善出版、2009
- 7) 松屋龍喜、広田彰紀、谷川大輔、山名善之：モデュロールの適用に着目した国立西洋美術館の波動式ガラス壁面に関する考察—ル・コルビュジェの実現作品の実測調査による相互比較をとおして—、日本建築学会学術講演梗概集F-2、2009.8
- 8) LE CORBUSIER PLANS 第4集、2011年
- 9) ヤニス・クセナキス、高橋悠治訳：音楽と建築、河出書房新社；増補・改訳版（2017/7/26）

*1 筑波大学システム情報系・教授・博士（工学）