美しい構造体への７０の模型

～身体と建築の関係～

デザイン情報学科　本間達也
中田研究室

目次

第１章

Ⅰ．目的と背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３
Ⅱ．美－ダンスと身体、そして建築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３

第２章

Ⅲ．サンチャゴ・カラトラバ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５
Ⅳ．調査方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５

第３章

Ⅴ．７０個の模型・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７
Ⅵ．トップ７の模型・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28

第４章

Ⅶ．まとめと展開・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30

参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31

第１章

Ⅰ．目的と背景

建築設計をする上で、建築模型を制作することは、空間を確認する作業として大変大切な行為である。また、立体として確認することで、新しい発見や違うものの見え方があることもある。そこで、私は複数の建築構造模型を制作することで、美しい構造体を制作するプロセスを考えることとした。そして、その美しい構造体を制作する軸として、身体と建築の関係を用いて制作した。

美しい構造体として人間の身体を選んだ理由は、人間の身体は美しく機能的な骨格や筋肉があり、身体を支えるという構造があるためである。また、私がダンスを通して、感覚的に身体の美しさについて経験しているからである。このことから、建築と身体の関係性を考慮した上で、建築構造模型を制作することで建築の美しい構造体について考えたいと思う。

Ⅱ．美－ダンスと身体、そして建築

ダンスをしていると、体の重心の位置、力の均衡の取れ方、体の仕組みについて考えることがある（図１）。これは、体の自然な流れやバランスを考えることによって、より美しく綺麗に見せるためである。体の道理に適っていることを考えることは、より美しく見せるための要点である。このことは、建築構造についても同じことが言えると思う。建築の構造の重心の位置、力の均衡の取れ方、構造の仕組みについて考

図１　力の均衡

えることは、その建築物を美しく見せるための要点である。つまり、力が道理に適っていることを考えることは、ダンスに対しても建築の構造に対しても、美しさを求めるという点で同じことが言えると考える。

また、美しい構造を求めるとき、身体や建築物の意味が表現となることがある。ダンスにおいては、身体のバランス感覚や仕組み、感覚、力の流れ、周囲の空気、重力、附属するものなどが表現となる。建築物においては、力や仕組み、光、風、水、力と建築の関係が表現となる。このように、構造の意味を考慮しながら、建築模型を制作することも美しさを求める上で大切である。しかし、構造という点において的をしぼった模型を制作する上では、静止した模型であるということに注意しなくてはいけない。建築物の構造は基本として動かないものである。ダンスには、身体の動きや移り変わりから表現となり、意味を成すことがある。建築模型の構造に関しては、動かないものとして、意味を考えることを注意して、模型制作を行う必要がある。

第２章

Ⅲ．サンチャゴ・カラトラバ

人間の身体と建築の美しい構造を考える上で参考にした建築家が、サンチャゴ・カラトラバである。彼のスケッチを見ると、彼の作品は、人間の身体から多くのインスピレーションを得ているという事実が分かる。（図２）

そこで、彼のスケッチや写真、言葉から美しい構造への糸口をつかむこととした。

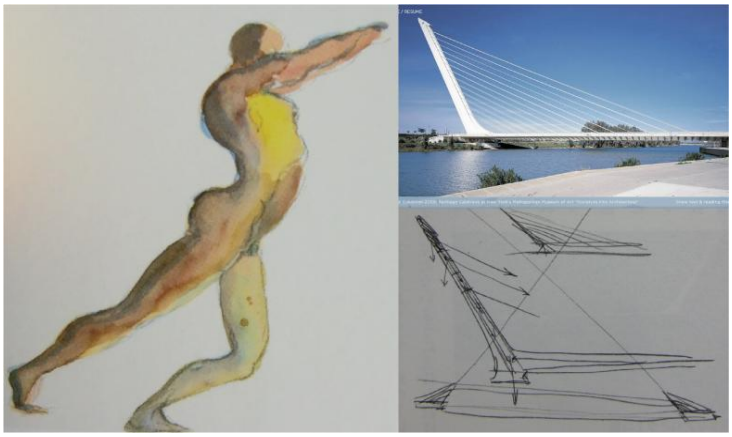

図２　サンチャゴ・カラトラバ

Ⅳ．調査方法

構造模型を制作する上で、構造的な条件として、本（図３ - 194×136×20）を床から１０cm 以上持ち上げることとした。そのような構造模型を総数７０個制作し、その中から７個の模型を美しい構造体を求めた上での成果として選抜する。（図４）この選抜の仕方として、素材や形態の意味、部材の数、を考慮することである。プロセスや模型の意味でグループ化し、その中から合理的で魅力的なものをグループの代表とし、その後、グループの意味を踏まえて、全体のトップ７を決めることとした。

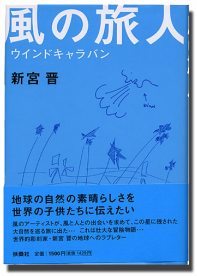

図３　模型で使用した本

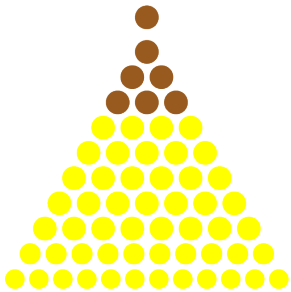

図４

第３章

Ｖ．７０個の構造模型

ここから、構造模型のプロセスと構造的意味を制作した模型の順で紹介する。

ｉ．模型（図６）

構造模型を作るときに、まず考えたことは、本の荷重を一点のみで支えようと考えたものである。この考え方は、単純に一点で支えることのすごさに注目したかったためである。

本の荷重はすべて三角錐にかかっている。本の安定を保つために３本の糸の引張力で、三角錐に押さえつけてある。

本は一点で支えているため、実際より軽いように見える。

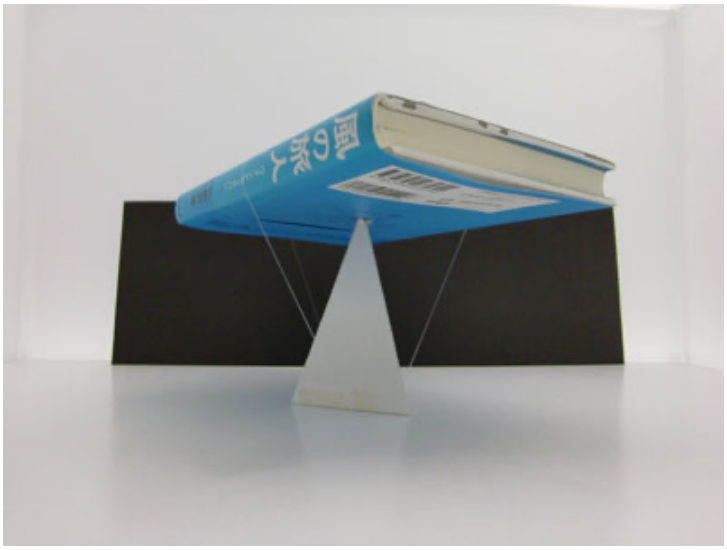

図６

しかしながら、糸の三角錐に押しつける力があるため、三角錐が丈夫な素材、形態でなくてはいけない。

ii．模型（図７、８、９、１０）

はじめに制作した一点で支える模型とは全く関係しておらず、ここでは、カラトラバの積み木の模型をもとに考えたものである。この模型で考えたことは、本とは別の荷重をもう一つ（カウンターウエイト）用いて、てこの原理で力の均衡を取ろうとしたものである。本の重さが、本より軽いものによって支えられているということに、魅力を感じたためである。

カウンターウエイトが、構造模型に乗ることで、図９以外は地面との引張力とつりあい、またそこに本の荷重がかかり、引張力を弱めながら、つりあって静止している。図９では、本の荷重とカウンターウエイトの荷重が、そのまま関係し合い、てこの原理で静止させている。

しかしながら、本を支えるための構造模型において、別の荷重を支えることによって成り立つという矛盾から、カウンターウエイトを使用することが今回の構造模型にはふさわしくないと考えた（図１１までカウンターウエイト有り）。

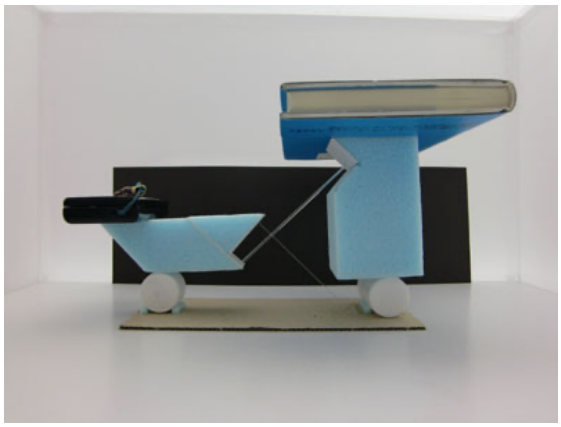

図７

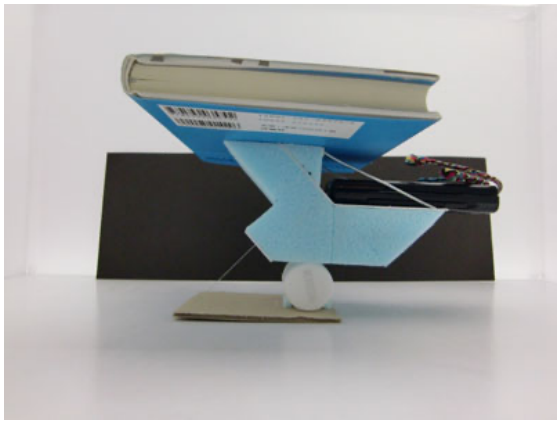

図８

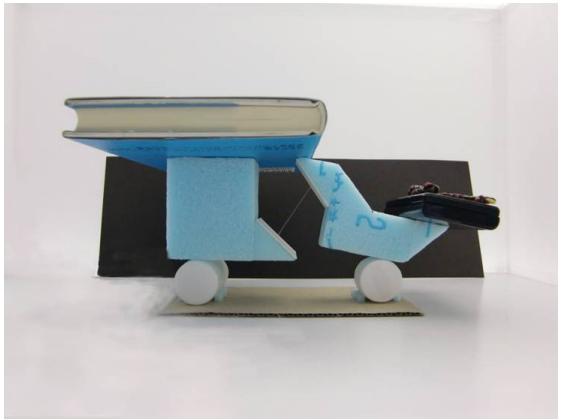

図９

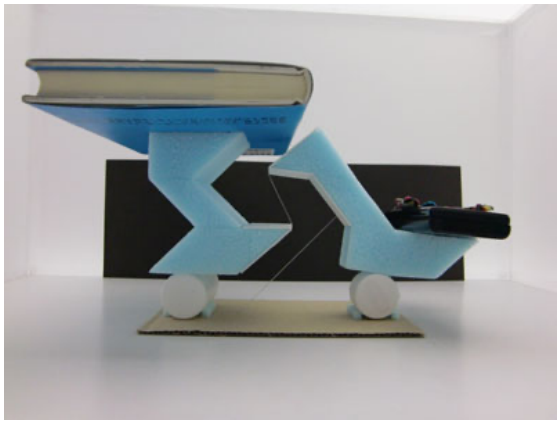

図１０

ⅲ．模型（図１１、１２）

前の模型を受けて、ここでは、携帯電話ではないカウンターウエイトについて考えた。図１１では、棒の形状が真っ直ぐに戻ろうとする力がカウンターウエイトとなるのではないかと考えた。図１２では、厚紙の真っ直ぐに戻ろうとする力について考えたものである。

結果的には、共に単純なてこの原理を示している。図１１では、引張力を地面に固定できないがゆえに、携帯電話を用いている。図１２では、右側の厚紙が本とつりあう荷重となっている。ここで、てこの原理から今回に合う構造模型を考えることが難しいと判断し、他の方法を考えることとした。

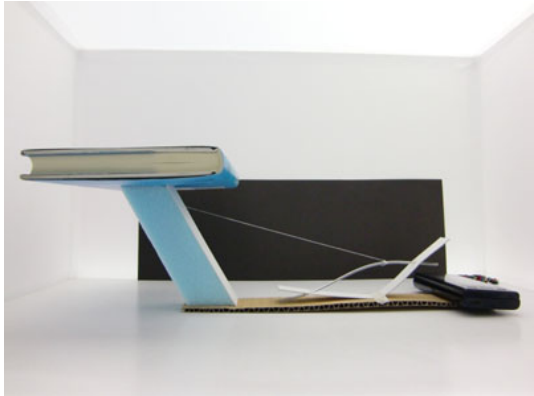

図１１

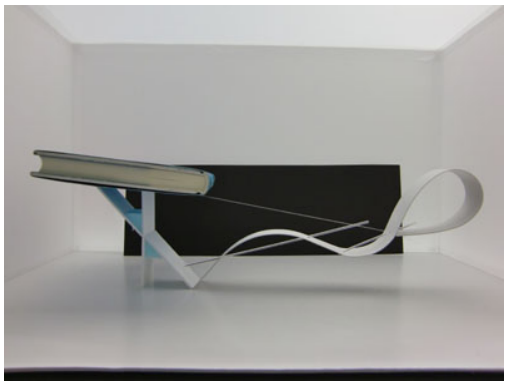

図１２

ⅳ．模型（図１３、１３´）

ここでは、ある、まとまった塊（ここでは、直方体）がバラバラの部材となり、組み合わさって元より大きい形になることで、元の形よりも高い位置で本をキープできるということをまず考えた。また逆に、10cm 以上にキープできている部材を、まとめることによって、シンプルな形に整理されるということが美しいのではないだろうかと感じたためである。この模型で、意味の無い部材を作らない、省くということを学びとった。

結果的に、できたものを見ると、一つ一つの部材が必要な強度に対して大きく過剰であり、右に見える円柱が一軸の回転に限定する役割をしているが、よりシンプルな形にできそうでもある。これらはまとまったときの形を考慮していると考えられるが、しかし逆に、部材の強度が限界であり、且つ、部材の形態が道理に適っており、且つ、それでもまとまった形になるという模型が作れるという将来性がある。このことから、この構造模型で考えたこと（ルール）は、大切な考え方であるように感じる。

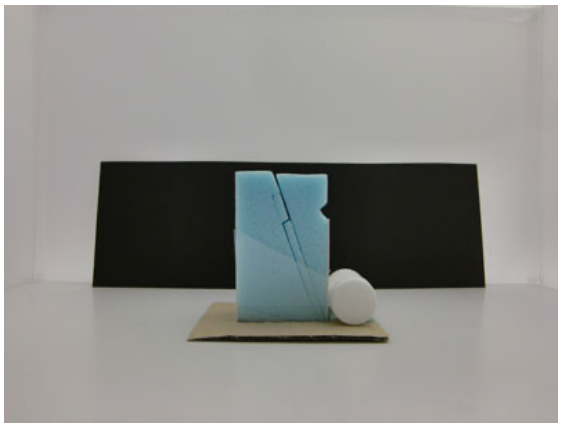

図１３

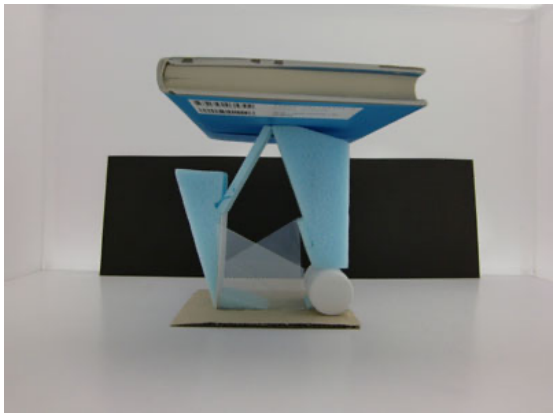

図１３´

ｖ．模型（図１４）

この模型では、カラトラバのウォーレン高校図書館のイメージからできたものである。この模型の構造的な仕組みは、図６の模型に似ていて、本の荷重は一点で支えられている。水平の均衡は箱の角に糸で固定されているため、図６よりも柱は細い部材で可能となった。

この模型で試したことは、光のコントロールである。本の荷重を支えている屋根は一本の細い柱に荷重がかかり、周囲の壁から自由になったことで、光が差し込んでくる。このことで、本が浮いているかのように感じさせている。このことは、図６の模型に軽さを追及するため光を取り入れたことから、より建築的であると考える。

図１４

ⅵ．模型（図１５、１６）

ここでは、本を支えることをよりシンプルに考えようとした。本が柱や壁に乗って、重心がずれ、倒れようとする動きを引張力で支え、均衡を保とうと考えた。図１６に至る経緯は、図１５よりも強度がない線材で、軸をピンにし、より構造の極限を狙うことである。しかしながら、図１５よりも不安定という結果は予想していたが、それが、直接美しさには繋がらないと感じた。それは、図１５の、面材によるヒンジと、図１６のピン軸が、構造の仕組み的に全く違うものであるからと考える。図１６は図１５よりも部材的に最小限ではあるが、図１５の部材には意味がある。図１６のピン軸は最小限であるが、本を支えることのリスクが増え、それが効果的に模型に現れていない。

この２つの模型から、構造的な行き過ぎへの注意と、いかに自然であることが重要であることがわかった。構造の仕組みと部材は大きく関わり合っている。

また、逆にピン軸を効果的に示す模型の存在を求めることができるのではないだろうかと考える。

図１５

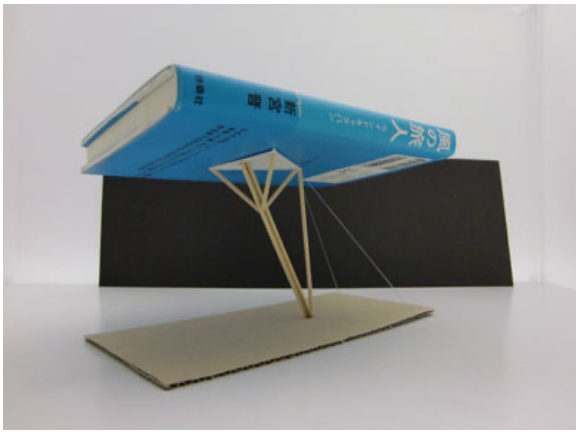

図１６

ⅶ．模型（図１７）

図１５、１６では、本の荷重を引張力で均衡をはかっていたが、図１７の模型ではその引張力の変わりに圧縮材で受け止めることとした。

この模型は圧縮材が機能的に働き、線材でも十分に安定する。しかしながら、圧縮材が地面に対して斜めにあるため、地面に対して開こうとしてしまう。図１７の模型では、その力を模型との引張力で均衡を取った。

図１７

しかしながら、このときの重要なポイントは素材の変更による、摩擦力の増加が美しいのではないかと考える。

ⅷ．模型（図１８、１９）

図１７の模型の引張力に注目した。３つに折れ曲がった部材が本の荷重により、お互い開こうとするものを引張力で支えるということを考えた。図１８では、倒れようとする部材がピンとして繋がっているため、成立するが安定が取れない。これも図１６のとき同様に、部材と仕組みの関係が崩れてしまっている。図１９においては、ヒンジとして構成されていて、一軸方向の傾きを引張力で支えるといった、安定した構造となっている。

中央にあいた円は、糸を通す役割とともに、シンボル的なものとなっている。

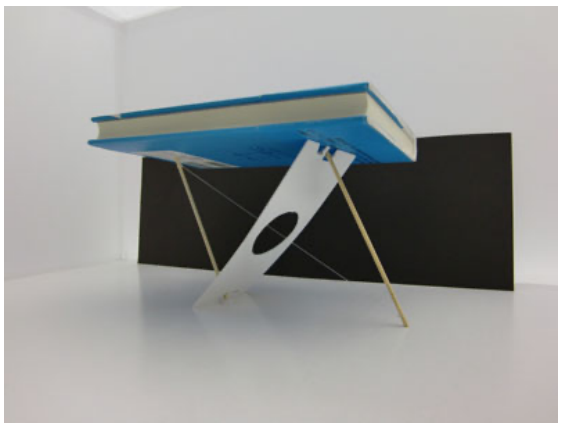

図１８

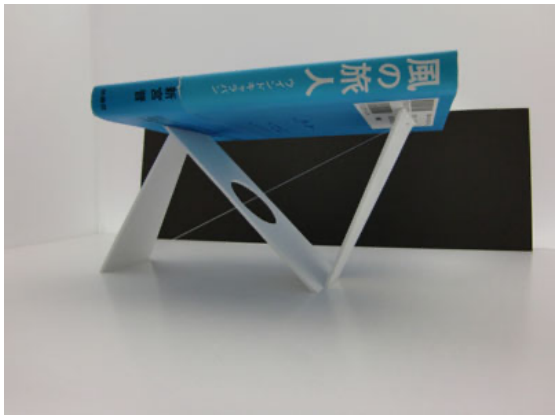

図１９

ⅸ．模型（図２０、２１）

ここで、改めてカラトラバの積み木の模型をカウンターウエイトを用いずに制作した。図７とは見た目は似ているが、構造の仕組みでは全く異なっている。それは、図２０、２１共に、本の荷重がかかっていない円柱の方にも、鉛直方向下向きの力が加わっているということだ。共に、本の荷重がかかることで回転することを、圧縮材で止めることにより働く力であることがわかる。

この模型で面白いことは、多少揺らしても崩れないということである。

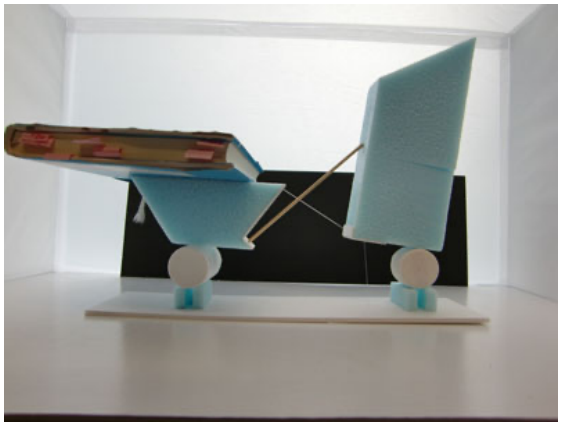

図２０

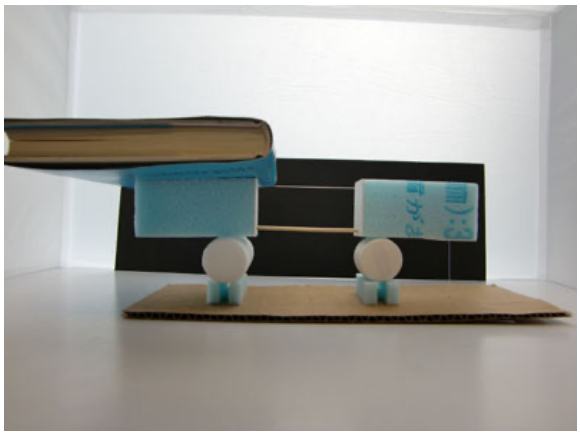

図２１

ｘ．模型（図２２、２３）

図２２の模型も、カラトラバの模型の模倣である。これは２本の糸で、柱が四隅固定され、残りの１本の糸で、本が吊るされている。その本の水平の均衡は柱を固定した２本の糸で支えられ、吊っている１本の糸と本の摩擦力で保たれている。糸の引張力の効果を棒を支えることと、本を支えることの２箇所に同時に使っていることは、とても有意義な構造である。

図２３では、図２２の柱とそれを支える糸を面材とした。これは、図２２より、安定した構造を目的としている。しかしながら、この模型では、その面材とした効果があまり得られなかった。面材は２枚の面が頂点で結びつき、立体として自立する。その自立してしまうことが、本の荷重で引っ張られる引張力の意味を一つ消しているためであると考える。このことで、図２２の線材による透明感が無くなり、面材が重たく感じられる。

この模型では、素材同士による摩擦を使うことで、滑る力を抑えることができ、安定の向上をはかることができた。

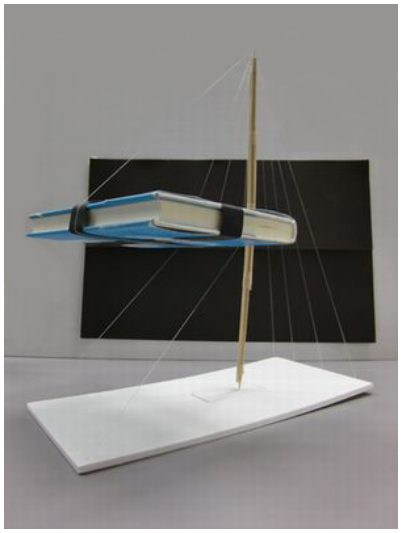

図２２

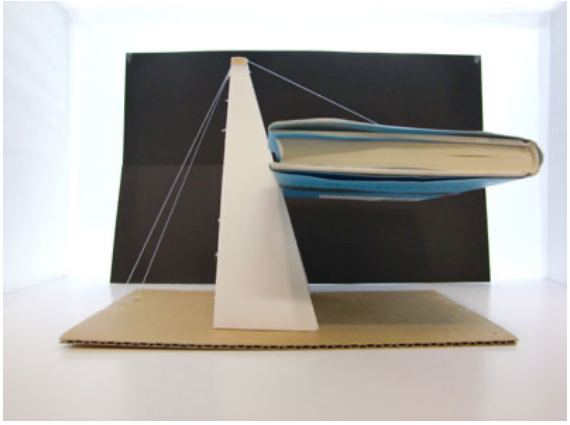

図２３

ｘ－ｉ．模型（図２４、２５）

ここから、基本的に部材を面材にしぼり、意味の無い箇所、または意味を発生させるために面材を削ることとした。

ここでは、ものを乗せることに対して単純に３点で本を支えることを考え、部材が屈折しないように部材の中心が太くなるように加工した。

図２４

図２５

ｘ－ⅱ．模型（図２６、２７）

ここでは、図１５、１６と仕組みは同じであるが、面材を折り曲げてできる三角形に注目し、そこに本を乗せるということと、その状態では、決まりきった形なので、あえてバランスを崩し他の仕組みで成立させるというルールで製作することを考えた。

この模型から、３点ができる面材の折り曲げは、折り曲げ方やそれに対しての開き方、更に不安定な形にするなど、他の方法を知ることとなった。

図２６

図２７

ｘ－ⅲ．模型（図２８）

この模型は、図２４、２５に似ているが、仕組みが全く異なる。開く面材が両脇の面材で支えられている。

図１８、１９のときのように本が乗ることで開くということを、ここでは圧縮材で支えている。この模型は見る角度により、非常に豊かな表情を見せていて、魅力的に感じる。この理由は、力の表現のために部材をカットしたことと、全体の仕組みがジグザグしているからであると考える。

図２８

ｘ－ⅳ．模型（図２９）

この模型で考えたことは、本の荷重で面材が開くことと倒れようとすることを、一つの部材で支えるということである。それは、挟んで支えることによって、成立している。開こうとする部材は左のほうに倒れようとしているが、それは、挟んでいる部材の右方向に倒れようとしている力によって均衡が取れている。

この模型は、少ない部材で、図２２のように数多くの意味を成していて

図２９

ｘ－ｖ．模型（図３０、３１）

ここでは、開こうとすることと別の方向に倒れようとする力を同時に支える、図２９の模型のような関係を考えた。図３０の模型では、開こうとする面材を引張力で止め、倒れないようにもう一つの部材で、両側を挟んでいる。図３１の模型は、図２４、２５の模型の流れのように、図３０の開く面材を上下逆さにして考えたものである。この模型は右にある、圧縮材と面材の関係性が全く無い。図３０においても、倒れることを挟んではいるものの、支えあってはいない。このことから、図２９の関係性まで到達していないことがわかる。そして、それは中途半端な形となってしまっていることがわかる。

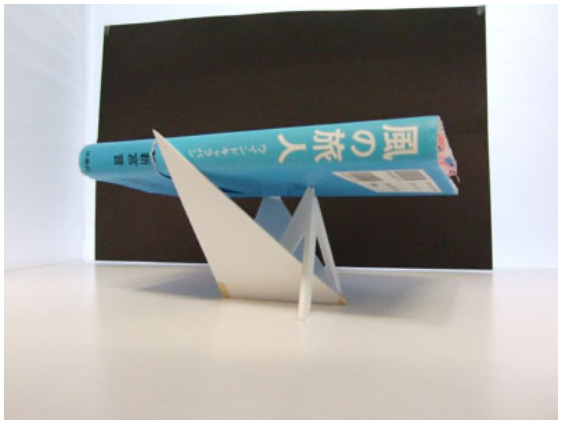

図３０

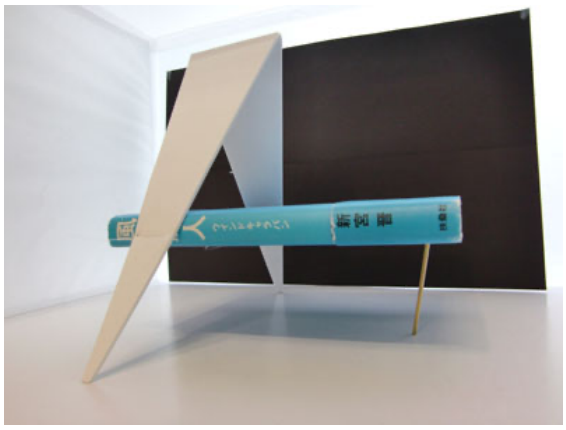

図３１

ｘ－ⅵ．模型（図３２）

この模型では、図３０、３１の流れを見て、過去にも逆さにすることによって、成り立つものがあるのではないかと考えた。これは図１７の模型を逆さにしたものである。図１７との違いは、図１７よりも支持地盤が狭いため、安定性が悪いということだ。

このことから、本を支える足となるものは、できる限り広い方がよいということがわかる。

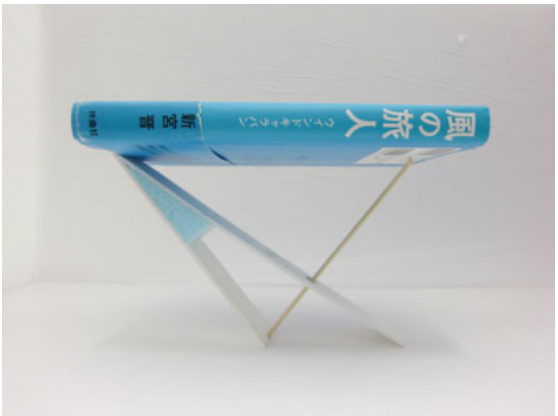

図３２

ｘ－ⅶ．模型（図３３、３４，３５）

この模型では、図２４、２５のように一つの塊として成立するものを考えた。図３３では、折り曲げた面材の安定した部材の極限を制作しようとした。図３４では３つに折り曲げた部材を三角柱にすることで、より細いものを制作しようとした。図３５では、２つの部材がクロスして、その広がりは単純に引張材で止めてある。

このような塊の模型は形の極限に迫ることが可能である。

図３３

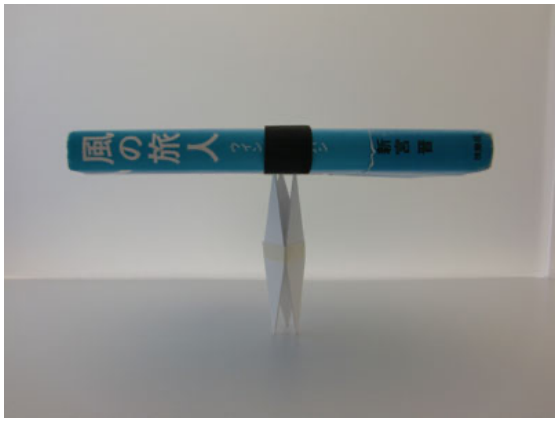

図３４

図３５

ｘ－ⅷ．模型（図３６、３７、３８、３９）

この模型で考えたことは、これまでのほとんどが、面材の折り曲げが１箇所であったのにたいし、ここでは、２箇所で折り曲げることを考えることとした（図３６，３８）。もしく

は、三つの面材の関係性を考えた（図３９）。図３６では、折り曲げに圧縮材で対応している。面材の中央は筋交いの役割を果たしている。図３７は、図３６の圧縮材の安定性を上下の面材の代わりに、斜めの面材にスライドを入れることで、一軸方向にコントロールすることを考えた、図３８では、２つに折り曲げた面材を２つ使うことを考えた。上になっている面材は、本の荷重で倒れ、閉じようとしている。下のほうの面材は、倒れることを垂直に支え、閉じることは斜めの部材として三角形を作り安定している。この三角形は、面材同士がクロスしているところが動かないことが、絶対的な条件なので、クロス部にはやすりを張り、摩擦力の増加をはかった。図３９においては、本を支えている面材が、両端の面材によって、吊り構造となっている。両側の面材は、それぞれでは直立せず、本が乗ることで内側に倒れようとする。その力を中央の面材で支えているということだ。

折り曲げ箇所が２つの面材、もしくは三つの面材の関係性は、面の箇所を多くしたので、バリエーションが多くあると考えていたが、基本的に安定していて、バランスが取れているため、ぞのバランスを削ろうとしてもあまり効果は無く、これから先の種類があまり無いように感じた。

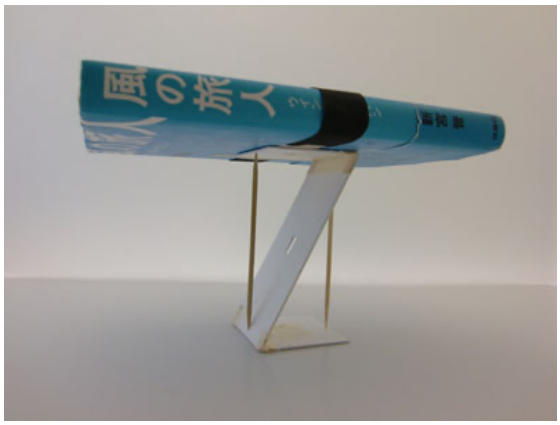

図３６

図３７

図３８

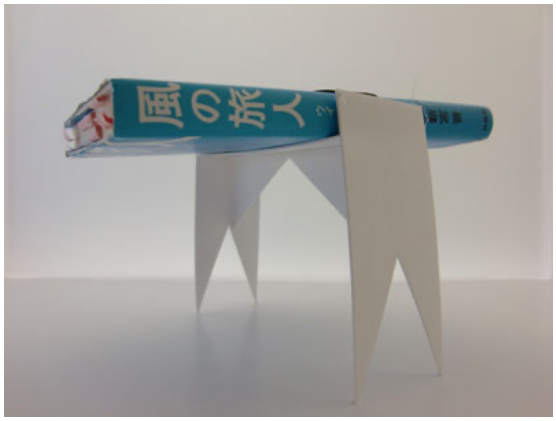

図３９

ｘ－ix．模型（図４０）

この模型は、図３９の模型の本を直接支えている部分を改良したものである。まず、図３９の模型の両側の足となる部材を、ピン軸として支え、本の位置を考慮し倒れる方向を本に対して前と決めた。そして、この足が内側に倒れようとする力と前に倒れようとする力を同時に支えるもう一つの部材を制作した。内側に倒れようとする力は、単純に面材に挟むことで立たせた。前へ倒れようとする力は、もう一つの部材が倒れようとすることで持ち上がる。この前に倒れる力はお互い支えあい均衡をはかっているのだが、内側への力は、部材の力に頼っていることに魅力を感じない。開こうとする力が発生し、支えることで均衡を保つような構造が必要である。

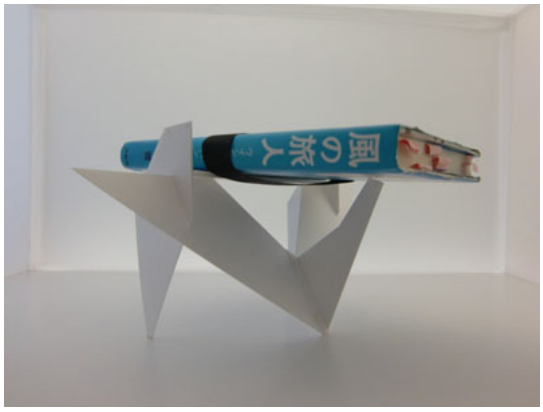

図４０

ｘｘ．模型（図４１、４２）

ここでは、開く、倒れるの関係を考えた。図４１の模型では、左の部材が開く部材で右側に倒れようとしている、右の部材がそれを支え、地面との摩擦力で開くことを押さえている。図４２の部材は三つの部材からなっている。左の部材は本の荷重により右へと倒れようとし、それを垂直な部材が支えている。内側に入っている部材は、左方向に倒れようとしているが、本の過重がかかった垂直な部材によって押さえつけられている。つまり、垂直な部材を介して残る二つの部材は倒れずに、均衡を保っている。垂直な部材の下に押し付ける力と持ち上げられる力がつりあって、支えあっている状態である。

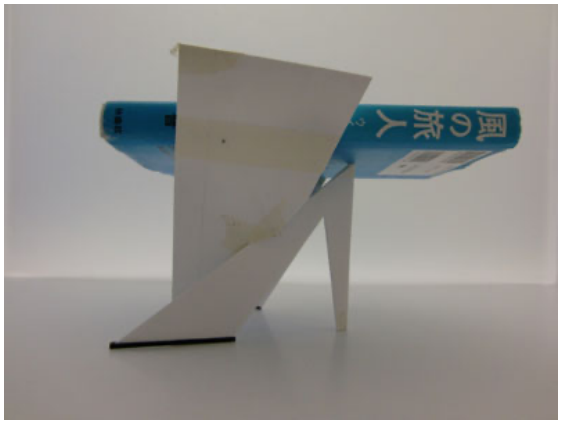

図４１

図４２

ｘｘ－ｉ．模型（図４３）

この模型では、三つの部材が関係し合って成り立つことを考えた。三つの部材は、本が乗る面で正三角形をつくり、内側に均等に力が加わるように分けた。そして、それぞれの部材が内側に倒れるように制作し、組み合わせた。この模型は、すべての部材がお互い関係し合い成り立っている。また、すべての部材が同じ形をした部材でできている。非常に魅力的でシンプルな構造を持っていると考える。

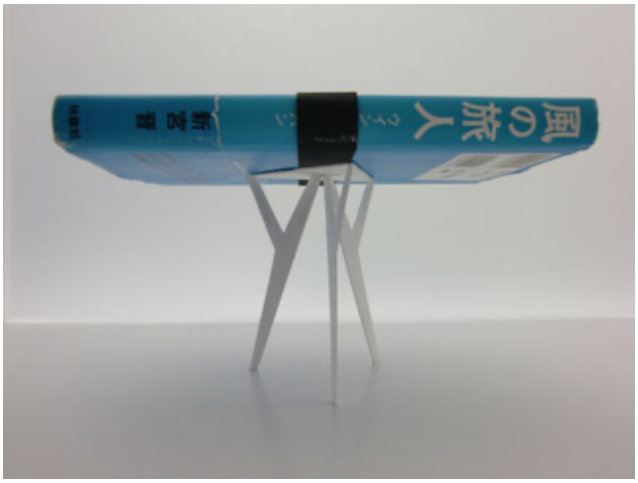

図４３

ｘｘ－ⅱ．模型（図４４、４５）

この模型では、アーチ構造について考えてみた。図４４では、三つのアーチが結びつき、上下に３点を作っていると考えた。しかしながら、図４５のようにしても成り立つ。これは、アーチの上部は点としてではなく線として本を持ち上げているからである。

この模型は、非常に頑丈で、この本の３倍以上ある本を支えることができた。これは、アーチ構造の特徴である。

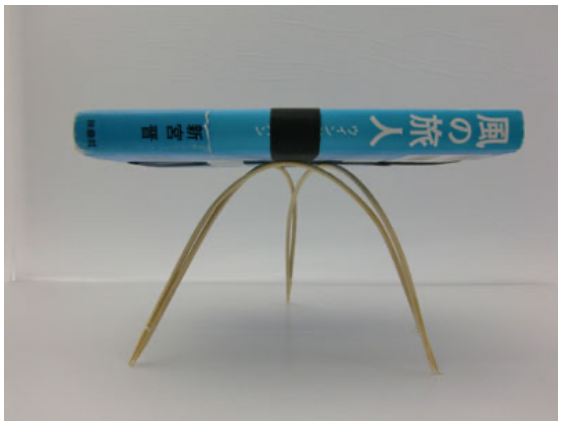

図４４

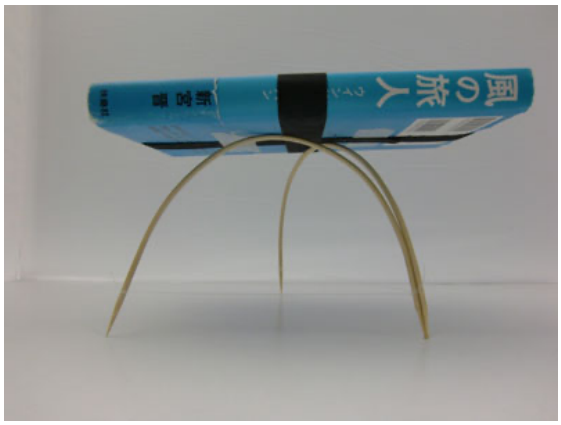

図４５

ｘｘ－ⅲ．模型（図４６）

この模型では、図１５と図２２の模型から考えたものである。本の荷重は部材にかかっていて、倒れるところを本を介して引張力で止めている（図１５）。また、本がキャンティレバーのように持ち上がっているのは、摩擦力と引張力が地盤面に伝わっているからである（図２２）。

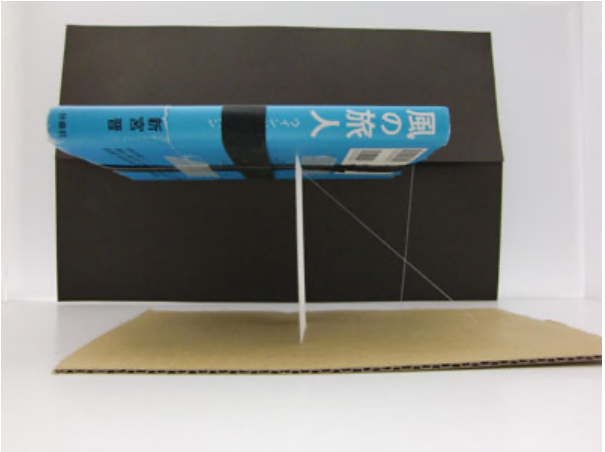

図４６

この模型は、支えあってはいないものの、お互いの図１５と図２２の欠けている力を補い合って成り立っているので、とてもすっきりとしていて、魅力的であるように感じる。

ｘｘ－ⅳ．模型（図４７）

この模型は、図４５で見た、アーチの頂点は線として成り立つことを生かそうとしたものである。アーチの部分が倒れようとしているところをもう一つの部材で抑えている。

図４７

ｘｘ－ｖ．模型（図４８、４９）

この模型は、二つの折れ曲がった部材とそこに含まれるアーチ構造、開く、倒れるという考え方を総合的に考えたものである。結果から述べると、様々な力や要素が関わりあうことによってできたものは、非常に魅力的に感じる。

図４８においては、内側の部材が本の荷重を支え、開く運動、倒れる運動をしてしまう。それを、外の部材が押さえているのだが、この部材もまた、開き倒れる運動を内側の部材によって止められている。持ちつ持たれつの構造である。そして、この構造は、本が乗らないと成立しないことにも注目したい。

図４９においては、図４８が本の荷重を一つの部材で支えていたことに対して、二つの部材それぞれが本の荷重を負担している。お互い開くことを支えあっているのは、図４８と同じであるが、本の荷重により左の部材は左へ倒れ、右の部材は右へ倒れ、共に離れよ

うとしているが、その力がお互いを保っている仕組みとなっている。

このようにしてみると、それぞれが物語を語っているようにも感じる、非常に美しい構造模型であると感じる。

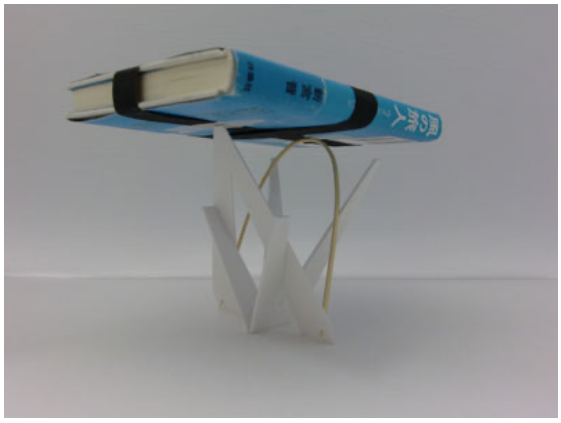

図４８

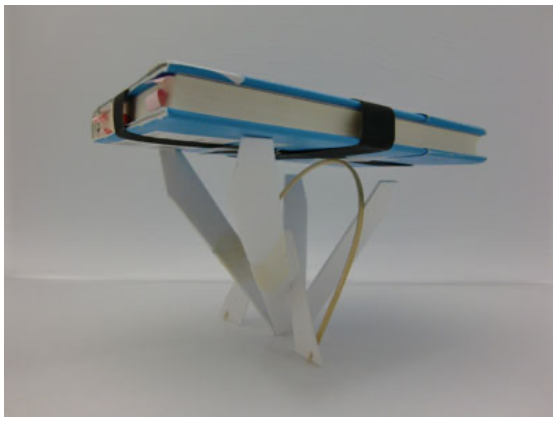

図４９

ｘｘ－vi．模型（図５０）

この模型では、開こうとする力、倒れる力を一つの部材で押さえることを考えた。左の部材は本の荷重で倒れようとしているが、右の部材が本の荷重を受け、その力で押さえつけている。開こうとしている力に対しては、直接部材を挟むことによって、自らも自立をなしているが、魅力的には感じない。図４０のときと同じである。

図５０

ｘｘ－vii．模型（図５１）

この模型は、図４２の模型をより簡略化し、安定の取れた模型としようと考えた。本の加重のほとんどは、外側の部材にかかっている。しかし、外側の部材はそのままでは左側に倒れてしまうので、それを内側の部材が支え、その安定は、本の荷重によって保たれているというようだ。この模型は、支持面が広く安定しているように見えるが、ほとんど点に近い箇所に、本の荷重がかかっているため、不安定である。

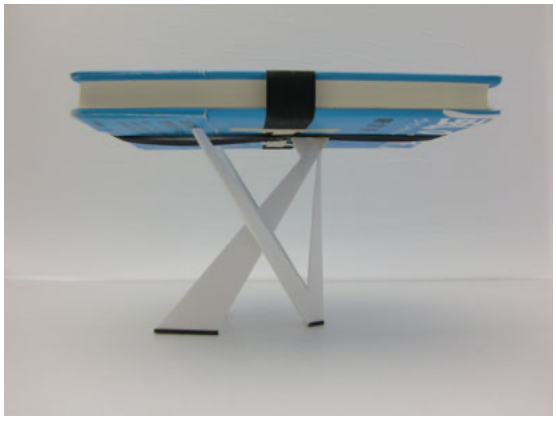

図５１

ｘｘ－ⅷ．模型（図５２）

この模型では、片方の部材が、もう一方の部材に寄りかかることを考えた。右の部材は本の荷重により自立している。左の部材は、右の部材に倒れるところを支えられている。見た目は、非常にシンプルであるが、仕組みに魅力を感じない。

図５２

ｘｘ－ⅸ．模型（図５３）

この模型は、図４３のように三つの部材が関わりあって成り立つことを考えた。図４３同様すべてが同じ形をしている。図４３と違う観点は、三つの部材が接しているところが上方ではなく、下方であることである。そのために、形も変わってきている。一つの部材は倒れようとしているが、別の部材が倒れようとしていることで押さえつけられるということを繰り返している。

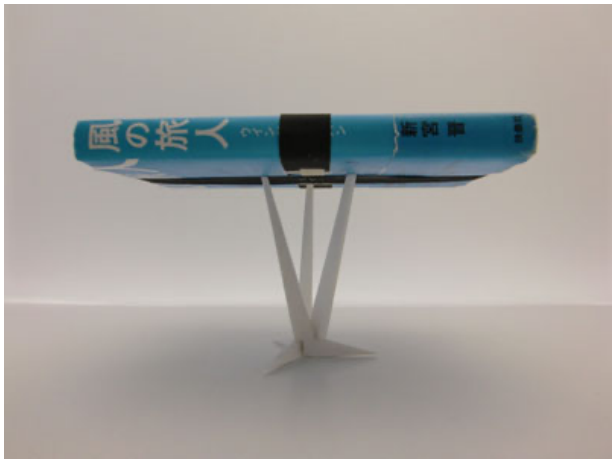

図５３

ｘｘｘ．模型（図５４）

ここで考えたことは、開こうとする力と、倒れる力の融合である。その意味では、図４８、４９の仕組みに似ているのだが、図４８、４９では、二つの部材が直行するように関わっていたのに対して、この模型は平行に並んでいる。左右の部材で、倒れようとする力が反対向きに働き、均衡を保っている。右の部材の開こうとする力は、左の部材によって抑えられている。この模型は、地面と接している箇所が５箇所もあるため、あまり魅力的とはいえない。

図５４

ｘｘｘ－ｉ．模型（図５５、５６）

ここで考えたことは、以前の模型の無駄な部分をそぎ落とすことである。図５５の模型は、図１９の模型と仕組みは全く変わらない。よりシャープにしようと考えたものである。図１９では面となっている意味の無い部分があったので、その意味の無い箇所をそぎ落とすことを考えた。そのそぎ落とすポイントとして、本と地面が部材と接する箇所三点を基にして考えた。結果的には、図１９と比べると非常に軽く、構造の要点が見えてくるようになった。図５６模型は、図１７の模型の仕組みと全く変わらない。ただし、図１７のときには引張力でスライドする部材を止めていたが、図３８のように摩擦力を考えることにより、すっきりとした形となった。この模型で考えたことは、図５５の模型同様、三点で支えるということを基本に、無駄な箇所をそぎ落とすことである。これもまた、図１７と比較すると非常に軽く見え、構造の要点が見えることとなった。

図５５

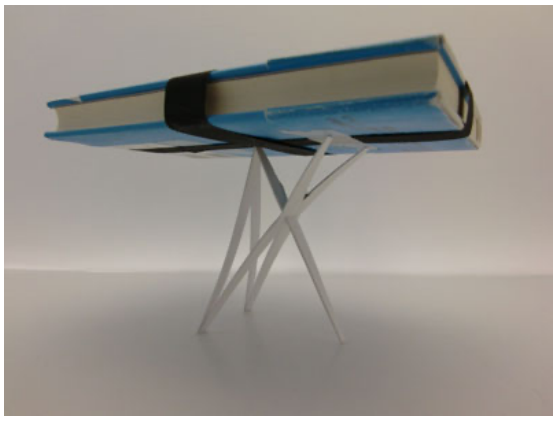

図５６

ｘｘｘ－ⅱ．模型（図５７、５８）

ここで考えたことは、図５２の模型のバリエーションである。図５２では、シンプルなのだが、仕組みに魅力を感じなかったので、他の可能性を探ることとした。図５７の模型は本と接する点、地面と接する点の形を変えた。左の部材は自立し、右の部材が開くことを押さえている。右の部材は倒れるところを左の部材に支えられている。このようにして考えると、図５２の模型よりも安定している。図５８の模型は、右の部材は自立していて、左の部材を支える役割をしている。図５２と違う点は、左の部材が本の荷重をしっかり、倒れる方向の力につないでいることである。しかし、自立の弱さから、逆に図５２よりも不安定なものとなっている。

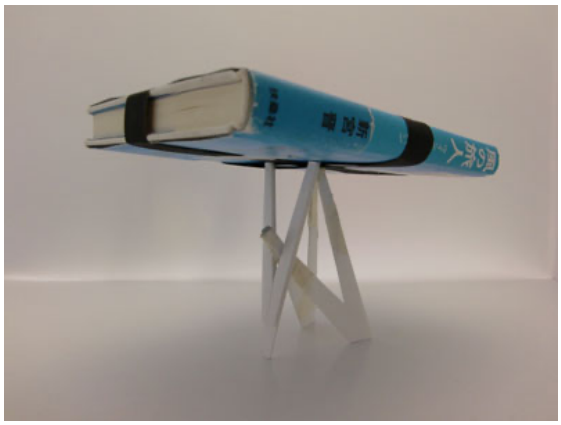

図５７

図５８

ｘｘｘ－ⅲ．模型（図５９、６０）

ここでは、以前の模型の無駄な箇所をそぎ落とすことを考えた。図５９では、図３０の模型を、図６０においては、図４１の模型を基本としていて、仕組みは同じである。共に、基の模型より、軽く見える。

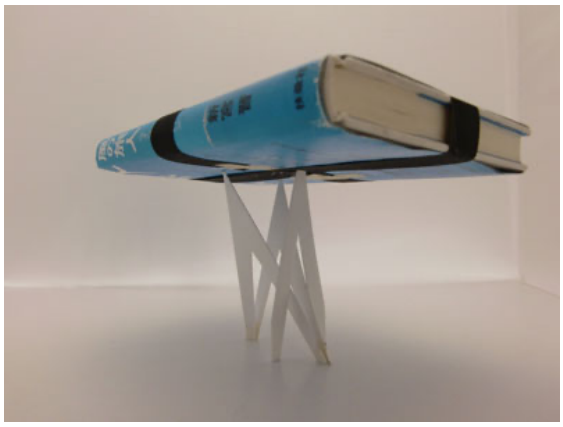

図５９

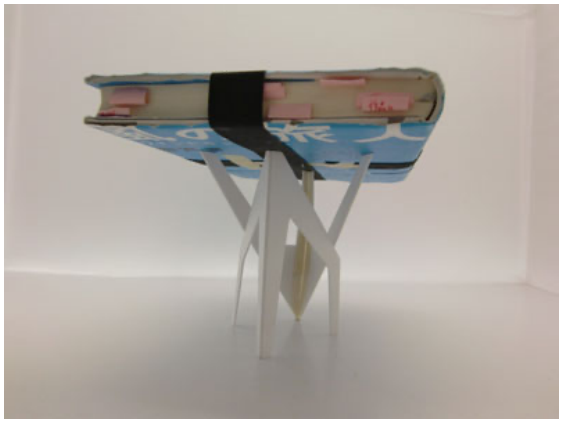

図６０

ｘｘｘ－ⅳ．模型（図６１）

この模型では、再び三つの部材の関係について考えた。図６１においては、図４３と同じ仕組みで内側に倒れようとする力が働いている。ここでは、接点を中央に持ってくることを考えた。図６２においては、図３９の仕組みと似ている、図３９では、両側の足は互いに独立していて不安定であったが、図６２においては、一つの部材として折れ曲がりとなって成り立っている。そのため、開こうと

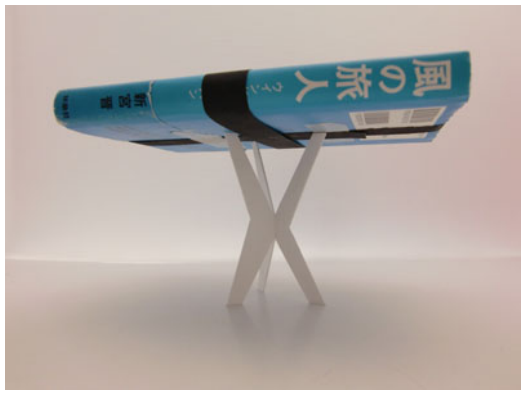

図６１

する力を支えることに力を変化させた。地面との接点に仕組みが組み込まれていないことが、あまり魅力を感じない。図６３は図６２の上下を逆さにして考えたものである。

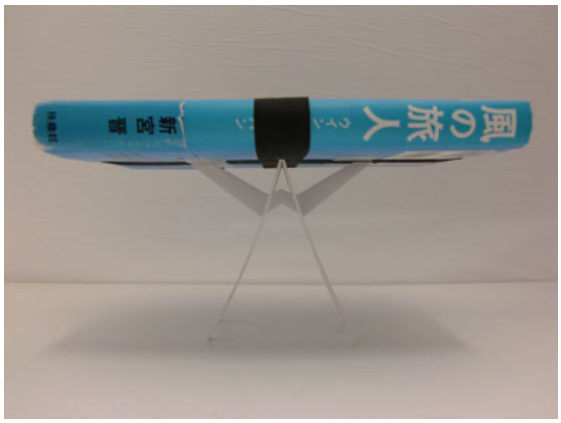

図６２

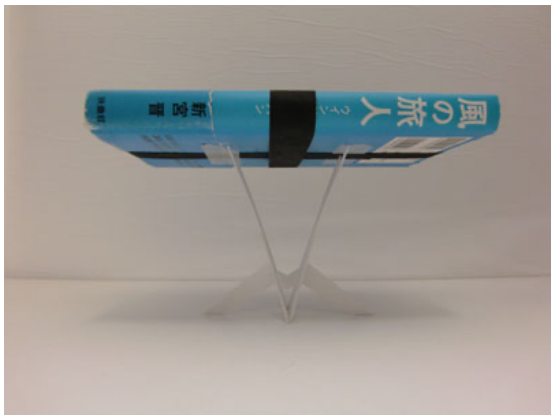

図６３

ｘｘｘ－ｖ．模型（図６４、６５）

ここでは、図２９の模型の改良を考えた。図６４においては、右方向に倒れることを考慮して、右の足はその方向に強い足の向きとした。図６５においては、仕組み、形態、共にほとんど図２９と変わらない。しかし、図２９よりも、お互いの部材の倒れる力のみで支えあっている。図２９の場合、図６５の模型でいう右側の部材が三点で固定されていた。こうして、図２９と図６５を比較すると、図２９の方が安定性があり、美しく見える。これは、図２９の一つの部材が三点地面についているが、それは垂直方向の力であるのに対して、横方向の力は別にしっかりと意味を踏まえているためである。逆に、図６５においては、倒れる横方向の力と下方向の力の合力である、斜めの方向を支えなくてはいけなく、それは摩擦力で補助されていたために、無理が生じている。よって、図２９の方が力学的にも美しく見える。

図６４

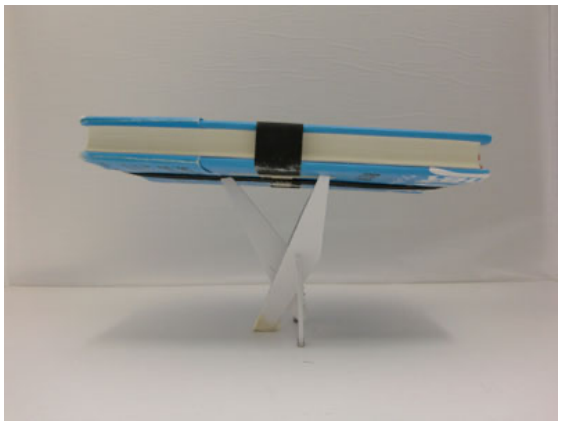

図６５

ｘｘｘ－vi．模型（図６６、６７）

この模型は、図２８の模型から考えたものである。図２３の模型の本と接している部分を三箇所に減らしたものである。この模型は非常に自由な形をつくることが出来、部材や力の関係に無駄が無く、非常に安定性が高い。結果からいうと、魅力的な構造であると考える。図２３と違い、自由な形に変形できるのは、本と接する部材を三点にしたことによる斜めの折り曲げが出来たからである。図６７の模型は、図６６の上下が逆さになったものである。

図６６

図６７

ｘｘｘ－vii．模型（図６８）

この模型では、図４９の模型の機能していない箇所を取り除くことを考えた。この模型は、お互いに倒れようとしている部材が支えあい、且つ、一方の部材が開こうとする力で、もう一方の部材が浮いてしまうことを押さえている。そして、それは開くことを押さえられている。見た目は非常にシンプルなのだが、仕組みが魅力的で、力の均衡が取れている。しかし、支持面が狭いため少し不安定となっている。

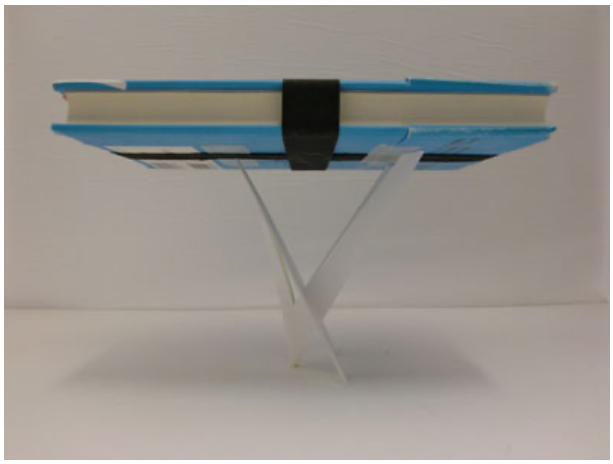

図６８

ｘｘｘ－viii．模型（図６９、７０、７１）

ここでは、図３４のときのように、塊としての三点の結びつきを考えた。図６９は、３点のより単純な結びつきから出来たものである。図７０では、３つに折れ曲がった一つの部材を立たせて、３点を考え、必要の無いところをそぎ落とした。図７１では、エックスを基本形とし、３点の結びつきを考えた。これはエックスから折れ曲がった箇所に力がかかり、とても不安定である。その他は、力が垂直に地面に伝わり、安定している。

図６９

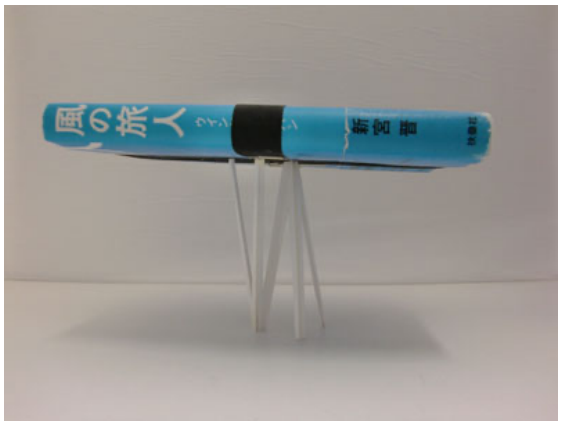

図７０

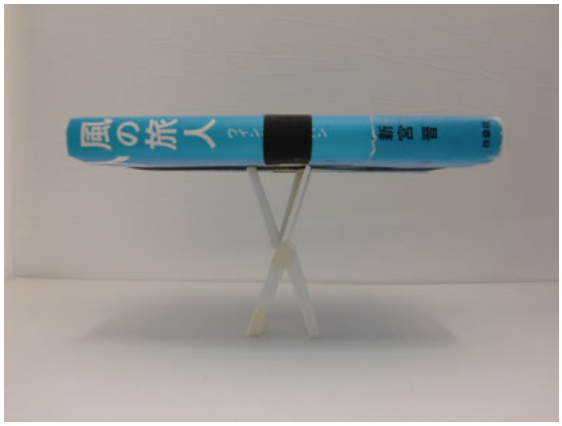

図７１

ｘｘｘ－ix．模型（図７２）

この模型は、図６８の模型をより安定させるように考えた。そのために支持面が図６８のときに比べ広くなっている。これは二つの部材の倒れる角度を広くしたことで可能となる。仕組みは全く図６８と同じものとなっている。

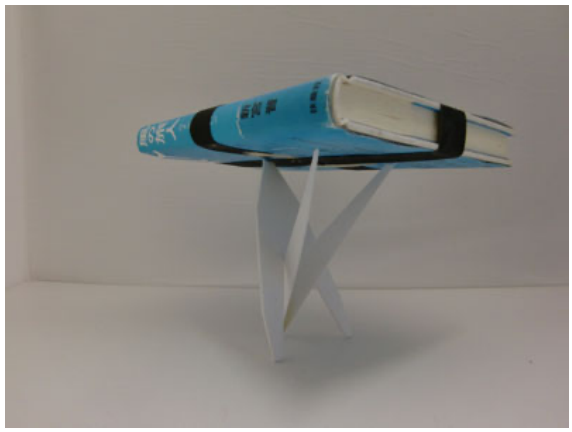

図７２

Ⅵ. トップ７の模型

７０個の模型すべてがそろった上で、それぞれのプロセスの流れや構造の仕組みを考慮し、まずはグループ分けを行った（別表－１）。その後、各グループの最も優位なもの、そして構造の仕組みと組み合わせて、トップ７を選抜した。

まずは、カラトラバの模型の模倣であるものを、グループ３で分けられる。

次に、プロセスの中で一番多く考えた、開くこと、倒れることを考えたグループである。これは、主に二つの部材の関係性で構成されていて、グループ９、１２、１３、１４である。その中で、初期に出来たもので安定性から出来たものがグループ９である。グループ１４は、最も後にできたものであり、力の仕組み、均衡があり、主にＶ字型の部材を考えたものである。グループ１２は、グループ１４の力の仕組みを別の形態で捉えたものであり、力の均衡も取れている。グループ１３は、力の仕組みに他のものと比較し、関係性が薄いものである。

次にグループ化できるのは、仕組みの違いと、プロセスから分けられる。グループ４、５、６である。倒れるものを引張材で支えようと考えたがグループ４、圧縮材で支えようと考えたものがグループ５である。グループ６はその倒れる方向を両サイドにつくり、お互いの力を引張力で支えようと考えたものである。これはプロセスの流れから出てくる考えである。

次に、グループ化されるのは、グループ１０、１１である。グループ１０では、三つの部材を関係させようと考えている。グループ１１も同様なのだが、特に三つの部材が全く同じ力を受け、均衡を保ち、形態も同じであるものである。

次は、グループ７、８である。これは、一つの部材として考えている。特にグループ８では、アーチ構造を取り入れている。

残りの、グループ１、２であるが、これは独立しているものである。グループ１は、一点で本の荷重を支えようと考えたもの、グループ２はトランスフォームについて考えたものである。

このように挙げると、主に部材の数で分けていることに気づく。

それでは、グループ分けの次にグループの中で優れたものを挙げる。

まず、グループ１、２、３においては、独立したものと考え、並列であると考える。

グループ４においては、図４６の模型が優れていると考える。これはグループ内でのプロセスの中で他の模型より仕組みにおいて、無駄が無いことと図２２のカラトラバの模型の摩擦力を使うことを組み合わせているからである。

グループ５においては、仕組みが総合的な関係となってグループ１４で満たされている。そのため、トップ７には入らないが、その中でも、図５６の模型が優れていると考える。他の模型と比較し、部材の形態に無駄が無ことと、摩擦力、面材のスライドを考慮してい

ることにある。

グループ６においては、図５５の模型が優れていると考える。他の模型と比較し、部材の形態に無駄が無いためである。

グループ７、８においては、一つの部材で出来ているため、仕組み的には並列である。トップ７には入らないが、図４５の模型が優れている。これは、アーチ構造を用いていることが利用に挙げられる。

グループ９においては、図６６の模型が優れていると考える。これは自由度の高い模型であり、本と地面に対して三点でしっかりと荷重を伝えているからである。

グループ１０においては、横に並んでいる関係以外ほとんどが、仕組みが違う。また、その仕組みが総合的な関係となってグループ１４で満たされている。トップ７には入らないが、その中でも、力の種類が多様な図４０が優れている。

グループ１１においては、図４３の模型が優れていると考える。グループ内では制作の考え方はほぼ同じであるが、仕組みの少しの違いで、安定性があることが理由に挙げられる。

グループ１２においては、図２９の模型が優れていると考える。これは垂直方向の釣り合いと水平方向のつりあいに分離することで、他の模型よりも安定性があるからである。

グループ１３においては、横に並んでいる関係以外ほとんどが、仕組みが違う。また、その仕組みが総合的な関係となってグループ１４で満たされている。図５１の模型の関係のみ特殊であるが不安定なものとなっている。

グループ１４においては、図７２の模型が優れていると考える。これは特に、図４９の模型と比べてみるとわかりやすい。図４９の無駄な箇所をなくしているからである。また、図４８は仕組みが違うが、これも非常に合理的で優れている。

このように、７個の優れた模型が出る（図２９、４３、４６、４８、５５、６６、７２）。ここで、仕組み、均衡、安定性、形態の総合的に優れている、図４８、７２の模型が上位に来るが、特に最小限の部材である図７２の模型がトップ１である。また、他と構造の仕組みが異なる図４３、４６、５５、６６の模型を考えると、非常に主観的であるが形態と仕組みのインパクトである。トップ２は、自由な形を生む図６６の模型である。トップ３は、キャンティレバーを摩擦力で持たせている図４６の模型である。トップ４は、三つの部材に全く同じ力が働き、バランスのよい図４３の模型である。図５５の模型であるが、ここで、図４８の模型の方が仕組みが複雑なので、図４８がトップ５となる。そして、図５５がトップ６．残りの図２９の模型は総合的に優れているが、部材の無駄があるためトップ７である。このようにしてトップ７が決まった。

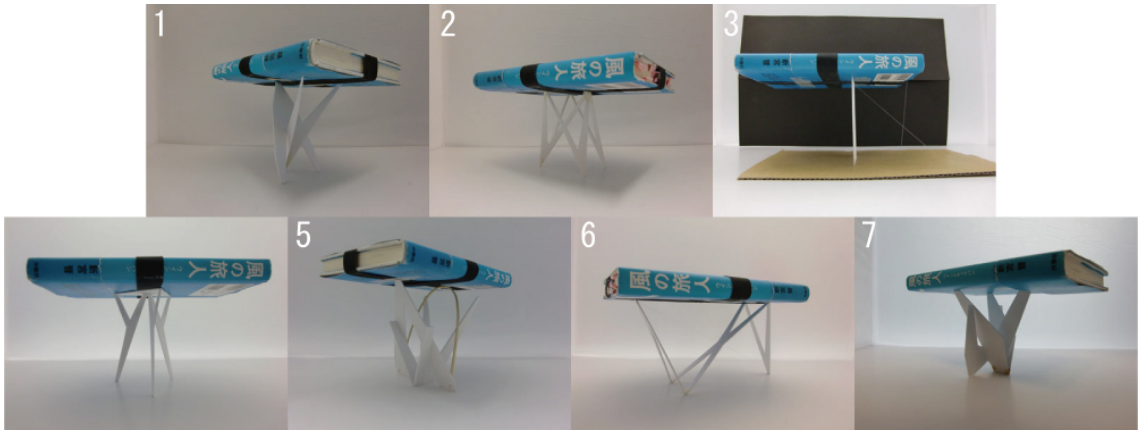

図７３

第４章

Ⅶ. まとめと展開

多くの模型をつくって、一つ一つの構造や知識を得た。しかし、この構造模型づくりを通して、最も価値あるものは、手を動かす作業により、その作業の数だけ法則を導き、沢山の答えがあり、無限の可能性を感じることが出来たことである。また、主観的な判断であるが、トップ７、グループのトップのすべてが後半に制作した模型であるという事実がある。これは、その手を動かす作業の反復が、より研ぎ澄まされた優れたものに向かえるということである。今回は時間的制約により７０個の模型とし、１４のグループに分けたが、これが１００個の模型、１０００個の模型となると、きっと１４のグループでは全く足りず、新しい世界があり、きっと今の７０個の模型よりも優れたものが存在する。このことを体験できたことは、後期の制作において、非常に工場の方向へと活かす事ができるだろう。

また、非常に主観的ではあるが、力の表現や力の関係の中に美しいことの指標を導き出せた。合理的であり、無駄な部材がないということである。

後期では、この制作で学んだ多くのことで、意匠設計との関係を考えながら卒業制作につなげたいと思う。

参考文献

金箱温春訳　「サンチャゴ･カラトラバ　建築家の講義」　丸善　,2008
El Croquis　「Santiago calatrava EL CROQUES 38」　El Croquis ,1987
El Croquis　「Santiago calatrava EL CROQUES 57」　El Croquis ,1992
a+u　「82：06　特集：フライオットー　NO141」　a+u　，1982
Philip Jodidio 「CALATRAVA」 TASCHEN