

特集

総論

特集

形態にあらわれた構造

構造家の想像力

—インタビュー—

原 広司

<div>建築家、東京大学名誉教授</div>

原 広司

1936年川崎生まれ。64年東京大学数物系大学院建築学専攻博士課程修了、工学博士。69年東京大学生産技術研究所助教授。82年同教授。97年同大学を退官、同大学名誉教授。70～98年設計活動をアトリエ・ファイ建築研究所と協同。99年原広司＋アトリエ・ファイ建築研究所に改名。主な作品は「梅田スカイビル」「JR京都駅」「札幌ドーム」。主な著書は67年『建築に何が可能か』（学芸書林）、73～79年『住居集合論 1～5』（鹿島出版会）、87年『空間〈機能から様相へ〉』（岩波書店）、98年『集落の教え100』（彰国社）など多数。

（聞き手：向井洋一、岡田健、大庭拓也、瀧口真衣子）

■はじめに

一本特集では、形態に力学的な特徴を感じる建築物を意匠と構造設計者がどのように考えてイメージを具体化したのか、それぞれの目線から作品のとらえ方の相違や共通点を紹介したいと考えています。

梅田スカイビル、JR京都駅ビル、宮城県図書館、札幌ドームの設計で、構造設計の先生方とのコラボレーションについてのお話を伺いたいと思います。

はじめは、小さい建物を中心に鉄筋コンクリートの動かない建物などを設計していました。梅田スカイビルは、僕の体験の中でジャンプがありました。変位が少ない鉄筋コンクリートに対して、変位の大きい鉄骨の建物を設計するわけです。スケール、寸法も大きくなり、自分にはあまり経験がありませんから、生産技術研究所の先輩である木村俊彦先生と一緒に設計してもらわないとできないと思いました。

木村先生は経験豊富でいろんな建物の構造設計をしておられてましたから、ものの考え方、構造に対する解釈、率直なところ梅田スカイビルもJR京都駅ビルも木村先生なしでは設計できなかったと思います。

■「連結超高層」を成立させるには

梅田スカイビルの「連結超高層」では、頂部をピンとローラーで繋げばいいんじゃないかという考え方で始めました。木村先生と佐々木睦朗先生とでいろいろ解析されたところ、変位が大きすぎて成立しないんじゃないかという話が、途中から出てきました。

一地震時の変形が大きかったわけですね。

解析すると、地震でなくても風に対してもなかなか難しいということが分かりました。結局、上の繋ぎは剛にすれば解決する！ということで、木村先生が私たちの事務所に駆け込んで来られた。それでは剛にするにはどうしたらいいのか。方杖が入れば大丈夫そうだという話になり、それで行こうということになりました。大きな建物、ましてや連結超高層も経験がないし、どう設計したらいいのかよく知らなかったのですが、竹中工務店の人たちに多くの手柄を教えていただきました。

一番のポイントは地震の時にどこをどういう風に壊すか。非常に経験的な話で、どの

建物もだいたいこういう具合に壊れるだろうから、このくらいは致し方がない、というような納得のいく答えは教科書にも書いていない。普通の人たちは知らないわけです。超高層を設計して初めてわかる。経験を重ねていってわかるんですね。

■「ノンエキスパンション」で

JR京都駅ビルは、建物の長さが470メートルもあるのを、木村先生はエキスパンションジョイントなしでいこうと考えられた。それを作ってもどうせ壊れるのなら、あらかじめここで壊すと決めておけばそれはそれでいいじゃないか。エキスパンションジョイントのコストは高いし意匠的には見苦しい、だから作らない。ただ、ここを壊すよとあらかじめ決めるにしても、そんなにたくさん壊れたら困るので、壊すにしてもほどほどにすることは、程度の問題で理論的には難しいですね。

二次部材についてもそうです。超高層のホテルの遮音性を保ちながら内装のジョイント部をどういう風に作るかという問題はかなり難しい。もちろんすべてコストに関連した話です。結局、壊れても仕方ないみたいな話になります。天井の落下は東日本大震災で大きな問題となりました。天井が落下しなければいいと言いたいのですが、できるだけ壊さないようにするにはどうしたらいいのか、難しい課題です。そこらの具体的な判断のためには、みんなの経験的知識の集積、そういうのがないとなかなか決定ができないと思います。

一大規模の建物ということでしょうか。

規模が大きいと改修するにも補修費用は大変です。いろいろな二次部材の実物実験では、そうそう壊れないのがわかっています。関西や北陸の地震でも（高層ビルの外装の）カーテンウォールのガラスは1枚も割れなかった。技術の成果だと思いますよ。しかし、実際の建築ではコストの高い製品ばかりは使えない。そこをどういう風に対処するのか、ひとつ課題だと思います。

■「動く」建築のディテール

梅田スカイビルのブリッジは上は剛で行くと決めましたが、中間部のほうをピンとローラーでどうやって止めるのか、どういう風に滑らせるのか、経験がある人でないとわからない。小さな建物でもブリッジをかけたり、

連結部を作れば出てくる問題です。「動く」建築のディテールを整理しなければいけません。梅田スカイビルと一緒に設計した竹中工務店の馬渡勝昭さんとこのディテール集を作ろうと話してきたのですが、実現していません。

世の中には2種類の建物があります。動く建築と比較的動かない建築です。一般には多くの人がこのことを知らないと思います。鉄骨とRCとでこんなに違うのかということ、超高層をやってみて初めて実感しました。教育の上でも重要でしょう。経験が判断の基準にならざるを得ないと思います。

■「空中都市」で繋がる空間

一様々なエンジニアが集合知的に問題を解決しながらプロジェクトが進んできたわけですが、梅田スカイビルはシルエットが象徴的です。建物のイメージはどのように作り上げてこられたのでしょうか。

始めに超高層ではなく様々な形態で容積を検討しましたが、どうやっても入らない。これは超高層でいかざるを得ないということになったわけです。当初の案は4本足で支えるものでしたが（**図1**）、オフィスのワンフロアの面積が1000平米くらい取らないと経済的に合いません。それで4本から2本に替えたんです。

競技設計時の課題には、24時間賑やかで活性化している建物か、大阪の新名所になるような建築等という要望がありました。それに応えるのはどうしたらいいのか、可能ならばこういうのでやってみたいと、木村先生に連結超高層の案を示し相談しました。連結超高層という名称も木村先生の発案です。以前から考えておられたようです。

日本では都市の地下は大変発達しています。地下街はみんな繋がっている。超高層であれば、空中でショートカットしているような空中都市のイメージ。地下でできることが空中でなぜできないのだろう。空中都市をつくるためにはどういう道具立てが必要か、梅田でやってみようというのが我々の考え方でした。木村先生は、電車の中ではひとりで立っているより2人で手をつないで立っている方が安全だということをいつもお話しされました。異なるもの同士の連結がいいともおっしゃっていました。それで片一方の建物の下のほう

にはロングスパンの空間を入れて、西と東では見かけは似ているが、周期の違う建物にしたわけです。

技術的あるいは経済的な課題として、ガラスカーテンウォールとPCカーテンウォールとの比率があります。コスト比は3：1くらいです。しかし、安いPCを多く使えば構造のコストが上がる。ですから最適な比率は構造から決定される。そのような全員理解から実現したファザードです。

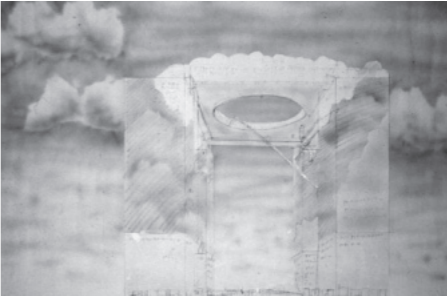


図1 梅田スカイビルファーストスケッチ

■人工地盤「マトリックス」

JR京都駅ビル（**写真1**）は木村先生の独壇場でした。絶対にこの案以外にあり得ないと、木村先生はそれほど自信をもっていましたね。2.8ヘクタールしかないところに23万～24万平米を入れようというのだから、すごい高密度です。敷地には地下鉄が通っているわ、JRの1号線がある。他にも駅に欠かせない施設がいっぱいあります。エレベーターを通そうにも階段を造るにも、途中で大きく曲がってしまう。



写真1 JR京都駅ビル
写真提供：アトリエ・ファイ建築研究所

木村先生が考えられたのは、「マトリックス」という鉄の塊みたいなものを10～11メートルほど浮かす。人工地盤みたいなものをつくり、その上に新しく施設を建てるわけです。1層分トラスだらけのマトリックスを縫って設備を入れる。そこを地盤と考えるわけです。

連結超高層ではこちらのイメージが先行し

ていましたが、JR京都駅ビルのほうでは木村先生がこうやるぞと構造方式をはじめに決められたのです。その条件の中で何が建築でできるのか考えました。構造のエンジニアリングのほうで決めた条件に対して建築は後で形を合わせていったわけです。

■明快な力学モデルによる解釈

—2つの建物は対照的です。空中庭園のイメージから出てきた「連結方式」の梅田スカイビル。逆に技術解の「マトリックス」に建築家が形をあてはめた京都駅ビル。アプローチが柔軟ですね。

JR京都駅ビルのときに、木村先生の下で具体的にやられたのが金箱温春先生です。他の人以上に安全第一で、一方、木村先生は曲面の構造設計も多く手掛けておられます。非常に複雑な形でも単純化して考えておられると思いました。基本的には柱と梁によるラーメン構造。曲面全体で考えているが、要所は梁と柱で押さえる。モデルが明快です。

札幌ドームは、竹中工務店の丹野吉雄さんや大成建設の細澤浩さんに加えて佐々木睦朗先生と半谷裕彦先生に入っていただきました。構造家がこれだけ揃えばまず安心。モデルを単純化し、それからいろいろ構築していく過程は実にわかりやすい。難問の中に沈んでしまわない態勢と方法です。建築の場合、スマートに作るためには単純化するモデルが綺麗じゃないといけない。JR京都駅ビルで非常に重要だったのは、470メートル一発でいく感覚。それが唯一の正しい解かはわからないが、木村先生の考えのほうがいいと感じました。

—構造設計者にもそれぞれ個性があると思いますが、意匠の立場から構造の主張をしたいこともあるのではないのでしょうか。

木村先生にいろいろと、こんなこともできるんじゃないかと申しあげますが、ある力学的性質の中の部分的な指摘をして、それをあだこうだと言っても、力学的事情はその他もろもろを包含した全体で決まってきます。私もあれこれ主張しますが、たいいてい駄目ですね。構造に関しては任せた方がいい。素直に聞くべきだと思います。僕は問題の提起はしますが、あまり主張はしません。

特集

形態にあらわれた構造

■「開いたリング」
 一札幌ドームではまわりをオープンになったものを作ろうとご提案されたそうですね。曲面の縁となるリングの径は閉じていないといけないと言われますが、そんなことはないだろうと。「み」（注：竹箕ざる）（写真2）はちゃんと安定しているじゃないか。こういうものを作ればいい、と言いました。



写真2 み=竹箕ざる 写真提供：アトリエ・ファイ建築研究所

早速、元大成建設の可児才介さんが「み」を買ってきたところみんな納得しました。昔のちりとりはだいたいこんな形で、田舎ではしょっちゅう見ていた構造の柔らかなシステムです。それではと佐々木先生が凄いいアイデアを出してくれました。開いたところをブリッジで繋ぎ、上の荷重をうまくバランスさせるシステムです。札幌ドーム（写真3）では、経験豊富なメンバーが多くいて、半谷さんをふくめていけると、なったわけです。



写真3 札幌ドーム 写真提供：アトリエ・ファイ建築研究所

■屋根の上で積雪が凍結

一思わぬ問題が潜んでいたようですね。

現場に1スパン分の屋根のモックアップを作って、実物大の屋根から雪がどう落下するか実験したところ大丈夫だということになった。ところが12月にオープンしたところ、雪が落ちて車を何台か破損してしまいました。落下時に削り取られた雪が弾んで、自動車を壊したわけです。人身事故にならなかったのは不幸中の幸いでした。

それより先に屋間雪が溶けて流れ出し、夕方に日が沈むと凍結する。これの繰り返しで曲面状のシャーベットができ、それがあるときずり落ちリバウンドする。雪の層の構成を見ると、水の層が結構厚く比重は設計荷重より大きく荷重状態が設計と違っている。屋根の変位を計測した結果、雪下ろしをしないと壊れるので、屋根の補強が必要ということになったわけです。みんなで協力し検討を重ねたうえ、札幌市に内部トラスの補強予算を認めてもらいました。これが雪との戦いの第1ラウンドです。

一屋根から滑り落ちる雪の対策についてもお聞かせください。

これは雪との戦いの第2ラウンドです。世界のどこにもリバウンドして雪が跳んでいくデータがない。個体と液体の中間みたいな状態のものの運動曲線を理論的に描くことはそう簡単ではありません。しょうがないから経験でいこうとクレーンを使って氷を落とす大がかりな実験をし、リバウンドした雪がどういう風に動くのか調べました。札幌ドームのような事例はそんなにありませんが、研究としては面白いですね。実際は大変ですが。

積雪の扱いでは、堆積すべきか落下させるべきか2つに大きく意見が分かれます。地域によって雪の性質が違います。荷重をどの程度みるかは見なおした方がいいでしょうね。また、壁の横からの雪の圧力がどれくらいかというデータはほとんどないと思います。側圧はすごく重要で隙間があると圧力がどうなるのか、というようなデータも必要です。

一初めての問題に直面したときは、デザイナーもエンジニアもフラットで、一緒に解決する、面白いと思います。

いざ当事者となると面白いとも言ってられない。雪に関しては格別でした。一緒に設計した人々は雪と戦った戦友の感覚ですね。安全に越したことはないから、雪の落下については実験値に従って、周壁をネットやコンクリートで作ったわけです。このような問題を一般的に解決するのは相当難しい。こうした工事費も札幌市に出していただいた。もう二度と「雪のことは解った」とは言いませんとただひたすら平謝りでした。少人数の僕らの事務所だけではとてもじゃないが解決できな

いわけですが、施工者が付いてくれていたからできたのです。

■本は直線に並べて分類

一宮城県図書館についてお話し願います。

宮城県図書館（写真4）は木村先生と新谷真人先生がやられた。地形的には谷を越えて建っています。高いところから基礎を見下ろすと、7メートルくらいの大きな径が縄文の住居跡のように見えました。山に橋を架ける感じで自然を残してやろうという発想がありました。長さは200メートル。図書館の専門家には評判が悪かったけど、僕は物を整理するときに、四角のところで動きが少ない整理の仕方はだめだと思う。直線に並んでいる方が分類しやすい。飛行場の動線も一緒です。だから本を直線に並べて分類する形にしました。ものの整理の仕方の話です。



写真4 宮城県図書館 撮影：大橋富夫氏

一敷地の選定も先生がされたのですか。

敷地はいくつか与えられた中から僕が選びました。平らなところは他の人が造ってはと提案しました。我々は山地の谷の地形を保存しながら造ったほうがいいと考えたわけです。建物の形は、プランニングのまま現れています。新谷先生は尾根筋をそのまま残す方法はないかと考えられました。10メートルごとに柱を立て両側に耐力壁を作り、ひよろひよろとした柱が並んでいる感じですが、何にも問題は起こっていません。水平力を受けるコンクリートの壁の配筋は実に綺麗でしたよ。

力学的に地盤は、山と平地とで全然違います。動きが違うわけです。山地は地震になると複雑だと感じましたね。地震で意外なところが壊れる。例えばスプリンクラーなどです。躯体の構造の部分は、屋根も壁も柱もスラブも壊れなかったですね。ガラスのカーテンウォールも1枚も壊れない。大きな地震の前にも何度か地震が来ていますが、そのつど上

のものが落ちました。上から落ちてくるのは避けられませんが。上にある電球はひとつひとつ安全のための鎖を付けています。高いところの設備は気をつけないといけないが原則。ここでは排煙のガラリが落ちました。幸い地震があった時は休館日だった。だいたい天井にある諸エレメントには注意してもしきれないところがあり、そうした弱点が大きな地震になると露呈することになります。東日本大震災で私たちの意識は変わりましたが、管理の仕方は相当注意しないとイケない。建築を職業とする私たちには相当厳しい状況ですね。そういうことから札幌ドームでは改めて上部はすべてチェックさせています。パネル1枚落ちても大変ですから。

一天井の落下の話になると、特定天井になるとやらないようにするとか、空間デザインの自由度を狭めているような気がします。

今、小学校の体育館をやっていますが、天井を作らない方向で進めています。実際にはメンテナンスが心配です。メンテナンスがゆきとどいているかどうかが重要です。設計から何十年も経っている天井は怪しいかもしれません。

建物の規模が大きくなると技術が重要になります。重力と関係するかもしれません。小さいうちは何とかなっても、大きくなると技術的判断が非常に重要になる。小さな建物のデザインと大きなもののデザインは変わらないと言う人もいますが、地震に襲われると特に大きいものはスペシャリストの視点や保証システムが必要になります。そこが世間では理解されていません。

■重力と建築・空間

一天井の話では重力は空間を制約しますが、逆に目に見えないが常にそれを感じていることには、体験としては意味があるのでは。

結局、地震も含めて建築とは重力との戦いです。イメージとしてはフローティング、浮いている状態があこがれでもあります。雲みたいな建築になるのがいいなあというイメージを持っています。しかし現実はそうではない。浮遊している感じを捉えるということは、いかにも軽々と揚がっているな、というみたいなことを作り出すのがかなり良い。構造的というか力学的なんですけど、反力学的なたたず

まいが格好いいんじゃないかと思っています。重いものを軽く表現するという意味ですが。
一重力はデザインにどのように関係しているのでしょうか。

地球外建築、人工衛星のステーションとか月面の基地とかの話になりますが、1990年代は日本が宇宙開発に参加するという機運がありました。そこで「地球外建築」の無重力の世界では、いかに重力を造りだすかが問題になります。普通に生活するためには、浮遊状態がまずいので重力をいかにして作るか。回転させた遠心力で重力に替えるぐらいしかないですね。いざ作り出すとなると大変です。

空気もないし浮いているわけですから形態は重力と無関係です。流線形みたいなものもデザインとしてあるかもしれませんが。でも抵抗がないから、流線形でも四角形でも運動の力学では同じなのです。少し初速度を与えれば、そのまま宇宙へ無限に進んで行きます。

■「ダークマター」を例に

質量が重力に関係します。質量の原因となる力の話ですが、天文学者がすべての星の質量を計算してみたところ、重力の5%しかありません。この問題は1930年代ぐらいに提起された、「ダークマター」とか「ダークエネルギー」の存在の話です。それが何なのかは専門家もだれも想像がつかないらしいですが、解らないということがすごい希望だと思います。この正体が明らかになると宇宙像がまったく新しくなります。これは、天文学者であり素粒子論の専門家でもある大栗博司先生に直接教えていただいたことです。

我々の日常の認識では重力というものはビジュアルになります。見えているというか分かっているつもりでいます。でも重力の意味は分かっているも、何かまだ不思議なものだということです。「ダークマター」の問題提起により力学の世界が変われば、建築も変わる可能性があります。いいチャンスだから、建築もそれに備えて考えておいてはと思います。

■建築の世界観はどう変わるのか

情報工学にはやられましたね。コンピュータ革命は建築の範囲を超えています。こういう事態にデザインの理論も備えておいた方がいいと思いますね。人類発祥以来、我々は都市を造るのは建築学の役割と思っていたわけ

です。それが、建築なんて四角に作ってればいいんだ、我々が都市も何もかも作るんだ、と情報工学は主張します。これまでもこうしたことに対して僕は警告してきました。

この100年の間に力学の幅も広がりました。世の中の様々な現象を扱うために、非線形とか複雑系の話とかが出てきています。建築にとって、力学が単なる安全のための計算だと思っている人たちは認識を変えなくてはいいですよ。建築全体の水準を落とさないために自分たちで変えないといけない。ダークマターの話はちょうどいい例だと思います。力学の問題としても面白いですね。もっと興味を持つてはどうかと思います。

■おわりに

アリストテレスは、建築あるいは建築技術を引き合いに出しています。その時代における本当に技術と言えば建築。思想的でもあった。それがだんだん地に堕ちていった。それでは面白くありません。建築にはもっと夢があります。実際はもっといろんなことができるんじゃないかと思います。

私は若いころから建築のシンボルは「雲」だと思ってきました。そこで、梅田スカイビルをはじめとして、さまざまな雲の形を屋根で造ったりしてきたのですが、その本来の意味は、建築は絶えず変化を伴った現象であるところにあります。建築は時間をパラメーターとする現象なのです。たまたま、地震がある日本では本来の力学も重力学なのではないでしょうか。
（はら ひろし）

一建築物の設計では、重力の作用を理解し解釈するために、力学がそれを説明する閉じた体系だと思ってきました。でも、その重力の源となる物質の大半が実はダークマターと呼ばれる未だに正体不明の物質であるとすれば、力学を通した世界観が今後大きく変わるのかもしれません。

今まで経験したことのないものを作るときには、時として新しい技術や研究が必要になると思います。未知の領域に踏み込んでいくために、経験と英知を注ぎ込んでチャレンジが必要であると感じました。建築には夢があるということには、心から共感します。ありがとうございました。