

BIMを用いたバイオクライマティックデザイン教育の実践 建築設計製図教育における環境シミュレーション手法の導入 Practice of Bioclimatic Design Education Using BIM Introduction of environmental simulation techniques in architectural design education

○森谷 靖彦*¹, 木村 謙*²
Yasuhiko Moriya*¹, Takeshi Kimura*²

*1 東京工芸大学工学部建築学科 非常勤講師 修士 (学術)

Part-time Lecturer, Department of Architecture, Tokyo Polytechnic University, Master of Arts and Sciences

*2 エーアンドエー株式会社 博士 (建築学)

A&A Co., Ltd, Dr. Arch.

キーワード : BIM; バイオクライマティックデザイン; シミュレーション; 建築設計製図

Keywords: BIM; Bioclimatic design; Simulation; Architectural design education

1. はじめに

専門学校や大学の建築系学科には、環境工学に関する授業時間の規定があり、学生は座学や実習を通して、建築と環境に関する知識を習得している。一方、建築設計製図の授業では、敷地条件や建物用途等の条件を満たし、それを意匠としてまとめることに注力しがちであり、環境工学等で学んだ知識を、設計行為に落とし込むことはあまりなされていない。

そこで、BIM (Building Information Modeling) を用いて、学生が環境工学で学んだ知識を設計に利用できるような授業を企画し、これを東京工芸大学の3年生を対象として実施した。本授業は、バイオクライマティックデザイン (Bioclimatic Design : 建築設計に環境工学を取り入れ、快適かつ環境負荷の少ない建築デザインを目指す設計手法) を、BIM およびシミュレーションツールを利用して、学生に深く理解させることを狙った。また設計のプロセスを、数値的根拠を使って明確に表し、それを効果的に伝える (発表する) ことを包括した授業として計画した。

本授業は2016年から2019年まで、4年(4回)実施し、毎年改良を加えていった経緯も併せて報告する。

2. バイオクライマティックデザイン授業の実践

2.1. 授業計画

本授業は、「Bioclimatic Design 熱的に快適で環境負荷の小さい魅力的な街づくり～商業空間をモデルケースとして～」*1) (以降バイオクライマティックデザインキットと呼ぶ) を参考に検討したが、全てを網羅するには授業時間の確保が難しいことから、上記キットのエッセンスを使った独自の授業として再構成した。

本授業の課題は、東京都渋谷区猿楽町 (通称 : 代官山)

に実在する商業施設地を仮想計画地とし、そこに新たな商業施設を再設計するというものである。ただし、設計条件として、建物および周辺の熱環境を考慮した設計内容となるよう、計画地全体の熱負荷計算を実施し、その設計根拠を明確に示すように指示を行った。(図1)

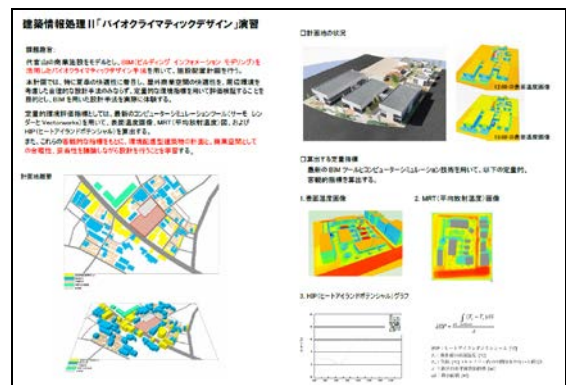


図1 バイオクライマティックデザイン設計主旨書

2.2. 事前検討およびツールの選定

これまで実施してきた CAD 演習科目および建築設計製図教育の経験と先行事例の研究¹⁾等から、本授業を実施する際に課題となりそうな点を次の3点に絞り、その対策を事前に検討した。

- ① シミュレーションに用いる建物モデルを作成するにあたり、モデリング作業に多くの時間を要する
- ② 設計行為とは直接関係のない、計算中のエラーを排除することに労力を費やしてしまう
- ③ 演習あるいはツールの操作が目的となってしまう、設計や議論へ発展しない

日本建築学会情報システム技術委員会
第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 366-369, 2019年12月, 東京
Proceedings of the 42nd Symposium on Computer Technology of Information,
Systems and Applications, AIJ, 366-369, Dec., 2019, Tokyo

このうち、①と②に関しては、予め複数の建物をモデリングし、それらを格納したテンプレートファイルを用意することで、回避を図ることとした。このテンプレートファイルは、バイオクライマティックデザインキットに付属するものを利用した。

③に関しては、シミュレーション作業に没入することなく、思考プロセスやグループディスカッションを誘発させるように、手描きで記入する「エスキースシート」を用意した。また、単なる演習として終了せぬよう、授業最終日に設計主旨やその狙い、結果として得られた環境改善効果について、班ごとに発表を行うこととした。

なお、本授業の履修者は毎年 100 名前後であり、PC 演習室で利用可能な BIM ソフトウェア本数の制限や、前述のグループディスカッションを授業に取り入れるという主旨から、学生 5 名程度からなる作業班を編成し、教室全体で 20 班程度になるよう班分けを行うこととした。

また利用する BIM およびシミュレーションツールは、1 年次に操作の経験があること、および作業インターフェースが比較的単純であり、学生の思考を妨げないものであることを条件に、エーアンドエー社の提供する次のツールとした。(表 1)

表 1 本授業で利用したツール類

BIM ソフトウェア	Vectorworks Architect
熱環境シミュレーションソフトウェア	ThermoRender (Vectorworks のアドオンとして動作する)

3. 授業の実施

本授業は、東京工芸大学工学部建築学科 3 年次の選択専門科目「建築情報処理Ⅱ」の履修生を対象とし、2016 年より実験的に開始した。初年度は全 15 コマの授業の内、10 コマを使って授業を計画した。各コマの授業計画は表 1 のとおりである。各授業は 90 分/コマである。(表 2)

表 2 各回授業の作業内容 (2016 年)

授業回数	授業内容
第 1 回	ThermoRender の基礎操作演習
第 2 回	環境の小さな快適な街づくりを考える
第 3 回	設計を行う (紙を使って手を動かす)
第 4 回	3D-CAD の作成と熱収支シミュレーション
第 5 回	3D-CAD の作成と熱収支シミュレーション
第 6 回	エスキース
第 7 回	エスキース
第 8 回	発表会準備・パネル作成
第 9 回	発表会 (プレゼンテーション)
第 10 回	発表会 (モニターセッション)

第 1 回目は、BIM ソフトウェア Vectorworks の基本操作実習を兼ねて、熱環境シミュレーションソフトウェア ThermoRender の操作演習を行った。

第 2 回は、バイオクライマティックデザインに関する講義を実施。第 3 回は計画地と周辺敷地をプリントアウトした紙 (エスキースシート) に、手描きでスケッチをしながらアイディア出しを行った。

第 4 回と第 5 回では、作成したエスキースシートを元に、シミュレーションデータを作成し、熱負荷計算を行う。第 6 回と第 7 回には、シミュレーション結果から環境的に改善を要する箇所を読み解き、設計変更 (材料の変更や、建物の配置変更、緑化の再検討) を行う。

第 8 回は、発表会前のプレゼンテーション資料の作成、第 9 回と第 10 回は、発表会とした。なお、プレゼンテーション資料には、表面温度画像、MRT (平均放射温度) 画像、HIP (ヒートアイランドポテンシャル) グラフ等の出力データを使った結果分析を必ず記述し、数値的な根拠を持った明確な説明ができるよう指導を行った。

東京工芸大学は、PC 演習室にて一人 1 台のパソコンが割り当てられる環境を持つ。授業最終日には、潤沢にあるモニターを利用して、ポスターセッションならぬモニターセッションを行った。モニターセッションは、生徒同士が互いに作品に対して投票を行い、最も良い設計および提案を行った班を互選で決定する。その際、各班はモニターに発表スライドを表示しておき、学生が他班の設計内容が表示されたモニターに、付箋を貼る投票方法をとった。この方法を行うことにより、教員の視点で行う講評と、学生たちの目線で評価した作品との差異が縮まり、教員にとっても学生にとっても、公平かつ納得感のある評価を行うことができた。(写真 1)



写真 1 エスキースおよびモニターセッションの様子

4. 授業の評価と改良

授業は、今回利用した BIM およびシミュレーションソフトウェアの開発元であるエーアンドエー社のサポートもあり、概ね当初の授業計画通り実施することができたが、同時に次のような問題点も浮かび上がった。

- ① 建物モデルの変形や材料変更（屋上・壁面緑化等）で規定外の数値を入力したためエラーが出現し、その対応に時間をとられてしまう。
- ② 学生は制限時間ぎりぎりまでシミュレーション作業を行いたいため、発表資料の作成が間に合わない。その結果、プレゼンテーションがなおざりになってしまう。
- ③ 設計根拠を示すことは理解しているが、根拠となる MRT や HIP といった指標を正確に理解できていないため、場合によっては敷地周辺温度を下げることを目的とするような、設計主旨とは外れた発表になってしまう傾向がある。

①に関しては、事前に想定してテンプレートファイルを用意していたが、学生は教員が想定していた以上に複雑な形状モデルを作成し、あるいは想定外の材料設定などを行う場合があり、これによって対処に時間のかかる計算エラーを生じる場合があった。

②に関しては、より多くのパターンを設定してシミュレーションを実行したいという学生の心情もあり、どうしてもプレゼンテーション資料作成など後工程の作業にしわ寄せがきてしまう。せっかく優れたアイデアを考案しても、それを上手に発表できないことは学生にとって大きなフラストレーションとなる。

③に関しては、より丁寧な教材を作成し、学生の理解度向上を促す必要があることを痛感したほか、環境工学の授業と設計製図の授業を緊密に連携するなど、より突っ込んだカリキュラムを検討する必要があると感じている。2016 年の授業で露呈したこれらの問題点を鑑み、2017 年度の授業から、順次対策を行ってきた。

まずは計算エラーが頻出することを防止するため、建物テンプレートファイルの充実を図るとともに、原則として、このテンプレートとして準備された建物モデルを使って計算することを推奨した。この場合、デザインの自由度が制限されるなどの弊害も予想されたが、本授業の主目的である環境設計のプロセスを体験することに支障はなく、これがバイオフィリックデザインの理解を妨げるものではないと判断し、2017 年からはこの方法を採用している。

また、当初計画したスケジュール通りに授業を進行するのではなく、基本的なシミュレーション操作の学習後は、各班が主体的に「設計事務所」として機能するよう

に仕向けた。具体的には、班の中に所長や意匠設計担当、環境・設備設計担当、営業職（プレゼン担当）などの機能別担当者を設定し、それぞれが責任をもって自身に割り振られた役割をこなすように指導した。この結果、学生の主体的な行動を誘発することができ、授業の必要コマ数を減少させることも可能となった。（表 3）

表 3 各回授業の内容（2019 年）

授業回数	授業内容
第 1 回	環境の小さな快適な街づくりを考える
第 2 回	設計を行う（紙を使って手を動かす）
第 3 回	3D-CAD の作成と熱収支シミュレーション
第 4 回	3D-CAD の作成と熱収支シミュレーション
第 5 回	エスキース
第 6 回	エスキース（発表会準備・パネル作成）
第 7 回	発表会（プレゼン＋モニターセッション）

このほか、MRT や HIP の理解を促す教材として、学生に馴染みやすい SNS 風の対話形式による解説資料を作成し、配布した。この教材に対する学生の反応は良好であった（図 2）

HIP の考え方

大きな敷地全面が「芝生」で覆われているのと「アスファルト」で覆われているのでは、どっちが快適かな？
これは、なんとなくわかるよね！

じゃあ、実際に人が住んでいるところはどうか？
すごく表面温度が高いところ、低いところがあるよ。全面芝生や、アスファルトと、この街区を比較する指標はないだろうか。。

そんなときは、HIP（ヒートアイランド・ポテンシャル）の出番だ。
【HIP = 表面温度 - 気温】
凹凸のある街区を平面と考え、その平均的表面温度が何度高いかを示している。

「開発行為＝環境破壊」と考えるのは早計だぞ！！
意外にも、気温と同じ表面温度（空気を温めない）のところも多いし、場合によっては気温以下のところもあるよ！！

うまく設計すれば、全面芝生より大気への熱の負荷を小さくできる。
建築が環境を良くすることも可能なんだ！！

図 2 学生の理解を促すための追加配布資料（抜粋）

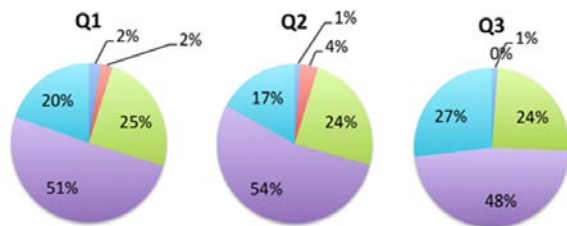
5. 学習効果の確認

授業内容の改良後、2019 年に無記名の授業アンケートを実施した。アンケートの内容は表 4 の通り、5 段階評価（1.理解できない～5.理解できた）にて記入する方法と

した。結果は図3の通りである。Q4の自由記入の一部は、表5に記載する。アンケートの集計母数は、81人である。

表4 アンケート内容

Q1	建築設計・計画と環境工学は密接に関わっていることが理解できた
Q2	クールスポットの設計やヒートアイランド現象緩和に関する設計手法が理解できた
Q3	表面温度を低減することは、建物や街区の快適性を向上させるために重要であることが理解できた。
Q4	本授業を受けた感想を自由に記入してください



評価	1.理解できない	2.	3.	4.	5.理解できた
Q1	2人	2人	20人	41人	16人
Q2	1人	3人	20人	43人	14人
Q3	1人	0人	20人	38人	22人

図3 アンケート集計結果

Q1、Q2、Q3とも、4または5（理解できた/とても理解できた）と評価した学生が70%を超えた。この授業に対する学生の満足度は高いといえよう。

BIM やシミュレーションツールを利用することによって、これまでの設計製図の授業形態では難しかった“数値的な根拠を持った建築設計”を実現することが可能となった。インプット（知識を得る）とアウトプット（得た知識を活用する）という二つのプロセスを、さまざまなアプローチ（講義、資料読解、エスキース、発表資料作成）により繰り返すことで、効果的な学習成果を得ることができる。アンケートの自由記入にも、ポジティブな意見が多く見られた。（表5）

表5 アンケート自由記入欄からの抜粋

環境の授業や製図の授業で学んだことを、実際にシミュレーションすることで、さらに理解が深まりました。
今後の設計計画にすごく役立つ授業だった。
今まで理論的に知っていたことも、シミュレーションを行うことで理解が深まりました。
自分たちが配置した案の温度状況を画像として見られたのは、今までになかった経験でした。

バイオクライマティックデザインは、実際の設計でも使えると思う。将来の仕事に役に立つと思う。

建物と環境の関係がどれほど重要なのか理解できた。

クールスポットを作るには、木を置いただけではあまり上手くいかないことがわかった。

構造コースを目指していたが、環境コースに進むことも考えてみようと思いました。

※自由記入の文面は、一部筆者にて抜粋と文体の調整を行なった

6. おわりに

近年、専門学校や大学の建築系学科で、BIMを使った専門教育が広まりつつある。BIMモデルは、建物全体を3次元でモデリングすることから、2次元の図面では難しかった建物の構造や設備、またそれらと意匠との関係が理解しやすくなり、総合的な建築知識の習得に役立つ。

かつての建築デザイン教育は、設計製図を中心とした“図面重視”のカリキュラムが多く、図面をキレイに描くというテクニックを教えることが多かった。

しかしBIMの登場によって、長らく続いた作図中心の設計製図教育から、本質的なデザイン教育へと、教育の内容や授業の構成が変化しつつある。

BIMを使い、建物全体をデジタルモックアップとしてコンピュータ上に構築することで、学生は自由な視点やさまざまな切り口で建築デザインを確認することができるようになった。さらに本報告のように、環境シミュレーションを設計製図に取り込むなど、これまでとは異なるアプローチの教育手法も試されている。東京工芸大学における4年間のバイオクライマティックデザイン教育の成果を活用し、BIMを用いた建築設計製図教育のさらなるブラッシュアップを図っていきたい。

注釈

*1) 「Bioclimatic Design 熱的に快適で環境負荷の小さい魅力的な街づくり-商業空間をモデルケースとして-」は、Vectorworks、ThermoRenderの販売元エーアンドエーにて商品化されたテキストである。編著：梅干野 晁 制作・発行：エーアンドエー株式会社

[参考文献]

- 中大窪千晶、梅干野晁、円井基史:熱環境設計教育の基本的考えと授業プログラムの提案 -3D-CAD 対応熱環境シミュレータを用いた建築環境設計教育 その1-、平成22年度工学・工業教育研究講演会講演論文集、pp.366-367、2010.8
- 円井基史、梅干野晁、中大窪千晶:建築系学部3年生を対象とした熱環境設計授業の実践 -3D-CAD 対応熱環境シミュレータを用いた建築環境設計教育 その2-、平成22年度工学・工業教育研究講演会講演論文集、pp.368-369、2010.8