

# VR-VIRTUAL REALITY SYMPOSIUM

# VR-SYMPO

# No. 2

VR Studio世界展開のための国際学術グループによるシンポジウム

VIRTUAL REALITY SIMULATION

VR・CADに関する  
国際シンポジウム・イベントレポートを掲載



## Contents

- 1:第2回 国際VRシンポジウム その1 (橋梁と都市プロジェクト:2009年2月)
- 2:第2回 国際VRシンポジウム その2 (橋梁と都市プロジェクト:2009年3月)
- 3:VRワークショップ at ASU (Up&Coming:2008年9月号)
- 4:第2回 FORUM8デザインコンファランス その1 (橋梁と都市プロジェクト:2008年11月)
- 5:第2回 FORUM8デザインコンファランス その2 (橋梁と都市プロジェクト:2008年12月)
- 6:第2回 FORUM8デザインコンファランス その3 (橋梁と都市プロジェクト:2009年1月)

橋梁&都市  
PROJECT  
FORUM 8

「第2回 国際VRシンポジウム (2nd International VR Symposium)」 誌上報告 (I)

## 3次元VRの先進的かつ多様な活用へ、 世界の建築系研究者の視点

— 最新の応用シーンと「World 8」の研究成果を通じて描かれる、今後の針路 (前編)

交通や災害を含む建築・建設に関わるさまざまな分野で、高度かつユニークな活用が進む3次元バーチャルリアリティ (VR) 技術。その先進活用事例の一端および「World 8」の一年間にわたる研究成果について紹介する「第2回 国際VRシンポジウム (2nd International VR Symposium)」 (主催: (株)フォーラムエイト) が08年11月19日、東京コンファレンスセンター 品川で開催された。世界の異なる環境を反映して各大学を拠点に独創的な研究に取り組む専門家たちが、それぞれの観点からVR技術の多様な利用可能性、あるいはそれらを実現していく上でVRツールの目指すべき展開方向などへの考え方を示している。

橋梁編纂委員会・編集 (ライティング・ソリューションズ) 池野 隆

### 国際VRシンポの位置づけ — 特別講演は英日のVR応用研究に着目

今回の「国際VRシンポジウム」開催はフォーラムエイトが「SIGGRAPH 2007」に出展した折、アリゾナ州立大学建築環境デザイン学部建築・ランドスケープ学科助教授の小林佳弘氏から3D・VRモデリングをめぐる現状と今後の動向を視野に、建築系研究者による世界的なネットワーク形成について提案されたことに遡る。

一方、フォーラムエイトは2000年5月、3DリアルタイムVRソフト「UC-win/Road」の初版をリリース。以来、継続的な機能強化とともに、日本語のほか英語・中国語・韓国語と複数言語にも順次対応。併せて、02年からはUC-

win/Roadの「ソフトウェア・プロダクト・オブ・ザ・イヤー」(02年度)受賞を機に「3D・VRシミュレーションコンテスト by UC-win/Road」を実施するなど、国境を越えた応用分野の開拓に努めてきた。しかも、開発中の次期戦略VR製品「VR-Studio」のリリース(2009年予定)を控え、そのような建築に関するVR利用にフォーカスした学術グループとの連携や、それを核とする国際シンポジウムは価値あるステップと位置づけられた。そこで、「World 8」の実質的な活動開始となる「第1回 国際VRシンポジウム」(07年11月20日)開催へと繋がっている。

「第2回 国際VRシンポジウム」は、ゲストスピーカーによる「特別講演」と「World 8」による「研究発表」から構成(表:「第2回 国際VRシンポジウム」の構成)。そのうち特別講演では、各分野をリードする英日3大学の教授がそれぞれ建設マネジメント、火災と避難のシミュレーション、津波解析におけるVR利用について解説した。

そこで本特集は2月号・3月号と連載により、各特別講演および「World 8」研究発表のエッセンスを再現する。連載前編となる2月号ではそのうち、全特別講演と「World 8」研究発表の前半を紹介する。



第2回 国際VRシンポジウム(東京コンファレンスセンター 品川)

写真は(株)フォーラムエイト提供

「第2回 国際VRシンポジウム (2nd International VR Symposium)」の構成 (敬称略)  
特別講演 (Special Lectures)

ナシュワン・ダーウッド Nashwan Dawood	ティーズサイド大学 理工学部 建設イノベーション研究センター長 教授 Professor, Director, Center for Construction, Innovation & Research, School of Science & Technology, University of Teesside	*
エドウィン・R・ガレア Edwin R Galea	グリニッジ大学 計算数理科学部 火災安全工学グループ長 教授 Professor, Director of Fire Safety Engineering Group, School of Computing & Mathematical Sciences, the University of Greenwich	*
今村 文彦 Fumihiko Imamura	東北大学大学院 工学研究科附属災害制御研究センター 教授 Professor, Disaster Control Research Center, Graduate School of Engineering, Tohoku University	*

「World8」講演 (Presentations of "World 8" Research) (発表順)

小林 佳弘 Yoshihiro Kobayashi	アリゾナ州立大学 建築環境デザイン学部 建築・ランドスケープ学科 助教授 Assistant Professor, School of Architecture & Landscape Architecture, College of Architecture & Environmental Design, Arizona State University	*
コスタス・タージディス Kostas Terzidis	ハーバード大学大学院 デザインスクール 准教授 Associate Professor of Architecture, Graduate School of Design, Harvard University	*
橋原 太郎 Taro Narahara	ハーバード大学大学院 デザインスクール 博士課程 Doctor of Design Student, Graduate School of Design, Harvard University	*
ワール・アブデルハミード Wael Abdelhameed	バーレーン大学 工学部(バーレーン)/ サウスバレー大学 ルクソール校美術学部(エジプト) アシスタントプロフェッサー Assistant Professor, College of Engineering, University of Bahrain (Bahrain)/ Faculty of Fine Arts at Luxor, South Valley University (Egypt)	
トーベン・バーンズ Torben Berns	マギル大学 建築学科 客員教授 Planetary Society Visiting Professor in Architecture, School of Architecture, McGill University	
ロナルド・ホーカー Ronald Hawker	ザード大学 ドバイ校 総合科学部 造形学科 准教授 Associate Professor, Department of Art and Design, College of Arts and Sciences, Dubai Campus, Zayed University	
クラウディオ・ラバルカ・モントーヤ Claudio Labarca Montoya	チリ・カトリック大学 建築・設計・都市研究学部 准教授 Associate Professor, Faculty of Architecture, Design and Urban Studies, Pontifical Catholic University of Chile	
福田 知弘 Tomohiro Fukuda	大阪大学大学院 環境・エネルギー工学専攻 環境設計情報学領域 准教授 Associate Professor of Environmental Design, Sustainable Energy & Environmental Engineering, Osaka University	

\*印の講演に関する記事は前編(今月号)に掲載、それ以外に関しては後編(3月号)に掲載

●● 特別講演 1

# 建設プロジェクトマネジメントへのVRの適用

Virtual Reality Application to Construction Project Management

ティーズサイド大学  
理工学部 建設イノベーション研究センター長  
教授

ナシュワン・ダーウッド 氏

Nashwan Dawood, Professor, Director, Center for Construction, Innovation & Research, School of Science & Technology, University of Teesside



英国北東部にキャンパスを置くティーズサイド大学。同大は広範な分野にわたって数多くの調査研究機関を設置しており、同大理工学部教授のナシュワン・ダーウッド氏が自らセンター長を務める建設イノベーション研究センター (CCIR: Center for Construction, Innovation & Research) はその一つ。そこでは、建築・都市環境における高度なコンサルテーション、調査研究、開発イノベーションを提供する。とくに建設業界に対し、成果やプロセスなどの面で持続可能かつ費用対効果の優れたソリューションを促進することをミッションに掲げ、学界および産業界との共同作業に力を入れている。CCIRを特徴づけるのが先端VR技術への取り組み

で、VRを建設サプライチェーンにおける支援手段 (enabler) と位置づけ、フォーラムエイトはじめさまざまな企業と研究活動を展開中という。

## 建設業界の課題視野にVR活用のロードマップ

ナシュワン・ダーウッド氏はまず、今日の建設業界が抱えるプロセスの断片化、デザイン開発に費やす時間の制約、関係者間のコミュニケーション最少化、イニシャルコストと比べて割高な最終コスト、建設計画そのものの限界、などの問題点を列挙。とくに建設ライフサイクルコスト (LCC) 比率 (「1 (建設) : 5 (メンテナンス) : 200 (建物の運用とファシリティマネジメ

ント)」)における建設コストの不均衡に加えた、更なるコスト削減・工期短縮要求など多くの課題に言及する。

これを受けて同氏は英国のクライアントを想定し、利益率や生産性などを10%上げ、工期や費用を10%、事故を20%削減するなどという目標を掲げた。ただ、それらのターゲットを達成するためには革新的な手法への対応も求められた。そのカギとなる技術がVRで、建設プロジェクトマネジメント (PM) においてはそのリアルタイムな可視化シミュレーション、協働、連携、増強の各機能が着目された。

さらにその導入を図るに当たってはIT専門家やデベロッパーなども交えた検討を経て、建設プロセスを通じたVRによる可視化シミュレーションの活用、2030年までを視野に入れた建築・都市環境におけるリアルタイムITの適用分野、そこでのビジネスを駆動する要素 (business drivers) — の各テーマに対し、ロードマップを作成している。

### VR 技術ベースの多様な建設プロセスの変革

次いで、建設プロセスの変革あるいは再構築の支援手段として期待されるVR技術、およびそれに関連した研究開発の現状について、ナシュワン・ダーウッド氏は具体例を挙げて解説する。

その一つが、3次元の成果モデルに建設プロセスやコストなど複数の情報を統合し、実際の現場を着工前に再現しようという仮想建設現場 (virtual construction site)

「仮想建設現場」これは、成果物の3Dモデルを建設プロセスに統合し、さまざまな工程間の矛盾や建設現場における混雑を特定する作業に關するものである。したがって、実際の現場作業に先立って工程のリハーサルを行う機能をもたらすことから、潜在的問題が実際に建設現場上で発生する前に特定される。これによって現場作業の理解が向上し、予期しない現場問題のリスクを軽減し、任意の時間における進捗を示したり時間の経過にともなう建設成果の可視化を行ったりすることが出来る。

**The virtual construction site**  
This is about integrating 3D models of product to construction processes and identifying conflicts between different processes and congestion on construction sites and therefore create the capabilities of rehearsing the construction process prior to actual site operation, and therefore identify potential problems before actually happening on a construction site. This will improve the understanding of the site operations, reduce risk of unexpected site issues, show progress of at any time and visualisation of construction products through time.



画像はナシュワン・ダーウッド氏提供 (Images provided by Prof. Nashwan Dawood)

だ。

たとえば、成果モデル (3D) とプロセスを統合した計画モデル (4D) により、工程を越えて起こり得る問題を事前にシミュレーション。任意の時点における建設工事の進捗予測、あるいは時間の経過に応じた建設成果の可視化を通じ、コミュニケーション向上やさまざまなリスク回避が期待される。

英国で実際に取り組まれた事業では4D計画モデルを用い、全体計画、ロジスティックス計画、インターフェース計画、設計・建設間の対立検出などを実施。その上で、関係者からデータを収集し、問題点を洗い出すなどして分析。対策を講じることで、工期・安全性・コミュニケーション・コストをはじめ各項目にわたって高い改善効果が見込まれ、トータルコストでは7%の節約効果があると算出されるに至った。

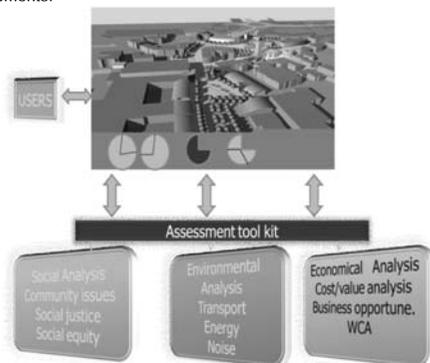
複数ソースの情報をグラフィカルユーザーインターフェース (GUI) に統合、さまざまなシナリオに基づき、空間・時間・コストなどの問題をシミュレーションにより最適化する取り組みも行われている。その一例が、成果モデル (3D) にプロセスとコストを統合した5D計画モデル。同氏らが開発したプラットフォーム上で時間の経過とともに変化するコストを表現するデモを交えながら、そのプロセス改善効果への期待を説く。

また、土工の可視化 (visualization of earthworks activities) ということでは、日本の幹線道路プロジェクト向けにタンジブル (直接触れられる) インターフェースとして路線計画用地形再現システムを開発。それを使った評価も行われている。

別の道路建設プロジェクトでは、土工作業の動的仮

「ゆりかごからゆりかごまでの都市計画」この研究の狙いは、仮想世界における都市計画を評価するためのツールと方法の開発である。これまでに都市計画および開発を評価するためのいくつかの社会・経済・環境ツールおよび方法が開発された。多くの場合、都市開発に関する意思決定を行う前に、これらの要因間の相乗効果を確立することが必要である。

**Cradle-to-cradle Urban planning**  
The research work is aiming at creating tools and methods for assessing urban planning within a virtual world. A number of social, economic and environmental tools and methods have been developed to assess any urban planning and developments. It is often that a synergy between the above factors needs to be established before any decision on urban developments.



想モデルが開発された。これは成果モデル（3D）とプロセスを統合した4Dの土工可視化モデルで、各種道路設計データのほか土工の生産性に関するRoadSimデータ、工事現場の作業規制を入力すると、時間の経過に応じた地形の変化が視覚的にも把握できる。

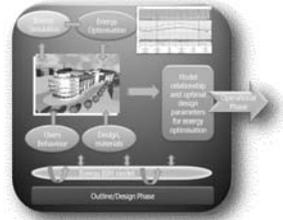
最近取り組んでいるのが、実際の環境に情報を付加提示する拡張現実（AR：Augmented Reality）。通常は実験室で行っているのに対し、今回は広いエリアにわたってGPSやデジタルコンパス、ビデオカメラなどの電子機器を使い、公益企業と共同で仮想空間上のライフライン地図データをARとして表現している。

さらに、VRと都市計画（VR and urban planning）に関しては、都市モデリングのほか、都市計画に関わる交通流・交通渋滞・人口・災害などのシミュレーション、さまざまな分野の調査研究を実施。とくに「ゆりかごからゆりかごまで」と冠した都市計画では、計画そのものを評価するツールキットを開発、社会・経済・環境の各面から分析を行おうというもの。この手法を用いた調査プロジェクトも行っている。

加えて同氏らは、08年5月に始まったEUの調査開発プロジェクト「IntUBE (Intelligent Use of Buildings' Energy Information)」にも参加している。EUは2020年までにエネルギー消費量20%削減を目標に掲げており、その達成に向け、エネルギー情報の高度分析と可視化を目指す。そこで、エネルギー分析のためのシミュレーションおよび可視化手法・ツールの開発、各種制約間の妥協点（trade-offs）の開発、BIMとシミュレーション

「建物エネルギー情報の高度利用」(intUBEプロジェクト、www.intube.eu)「intUBE」は、欧州連合の調査基金により資金調達された事業で、建築・都市環境のエネルギー消費量を削減するために情報技術(IT)およびVRを利用することを狙いとする。このプロジェクトの目的は以下のとおり。

- エネルギー分析のためのシミュレーションおよび視覚化のツールに関する方法と手法の開発
  - さまざまな制約(WLC、炭素フットプリントなど)間のトレードオフの開発
  - シミュレーションと実データ捕捉センサーを統合するための新たな手法の開発
  - BIMへのシミュレーションツールの統合
- Intelligent Use of Buildings' Energy Information (intUBE project, www.intube.eu)  
intUBE is an European Union research funded project with the aim of utilizing Information Technology and VR to reduce energy consumption of the Built Environment.  
The aim of the project is:
- To develop methods and approaches for simulation and visualisation tools for energy profiling
  - To develop trade-offs between different constraints (WLC, Carbon footprint, etc)
  - Development of a new approach for integrating simulation and real data capturing sensors
  - To integrate simulation tools with BIM



ツールの統合 — などを3年間で図ろうというもの。たとえば、設計段階でエネルギーのシミュレーションからその最適化モデルをつくり、ユーザーの行動パターンや設計などの要素も考慮しながら、エネルギーBIMモデルと連携。エネルギー最適化のためのモデル関係や設計パラメータを抽出。それが運用段階へと引き継がれる。そこで取得されるさまざまなデータは新たな建築のための設計段階にも活用される、といったイメージを描く。

ナシュワン・ダーウッド氏は、近年のVR関連技術の急速な進展を背景に、とくに教育やトレーニングにもたらされる変革に注目する。

## ●● 特別講演 ②

# 計算火災工学—火災と避難のコンピュータ・シミュレーション

Computational Fire Engineering:  
The computer simulation of fire and evacuation

グリニッジ大学 計算数理学部 火災安全工学グループ長 教授  
エドウィン・R・ガレア氏

Edwin R Galea, Professor, Director of Fire Safety Engineering Group, School of Computing & Mathematical Sciences, the University of Greenwich



グリニッジ大学は1890年の創立。計算数理学部のキャンパスはロンドン中心部から数km、テムズ川に隣接しており、一部はユネスコの世界遺産に登録されるなど歴史を誇る。グリニッジキャンパスのクイーンメリー・コートを拠点とする学術調査部門は30超。同学部教授のエドウィン・R・ガレア氏がグループ長を務める火災安全工学グループ(FSEG)はその一つで、1986年に設立された。当時マンチェスター空港で起きた航空機火災により数十名の犠牲者を出し、「なぜ逃げられなかったのか」との思いが、その契機となったという。

FSEGには数値流体力学(CFD)の専門家や火災エンジニア、心理学者、およびソフトウェアエンジニアを含む30名の研究者から構成。各種の事例を基に火災と避難に伴う力学、燃焼と火災・煙の拡大、火災鎮圧などに関する数学的モデリングや実験解析を主な研究対象としている。エンジニアや規制者のための避難解析シミュレーション「EXODUS」や火災解析シミュレーション「SMARTFIRE」のモデリング技術を開発。02年には the Queens Anniversary Prize も受賞している。

## FSEGの取り組みの流れ

過去20年間で、火災の挙動および現場の人々の行動に関する基礎科学的な理解が飛躍的に向上。併せて、火災理解へのアプローチは歴史・経験的視点から、科学・予測的なそれへと変化した。その結果、もたらされた大きな革新の一つが、高度なコンピュータモデルに基づき、火災発生時の人間行動を予測する「計算火災工学」。もう一つが、火災安全解析に関する「実績ベースの手法 (Performance Based Approach)」という新しいパラダイムだ。

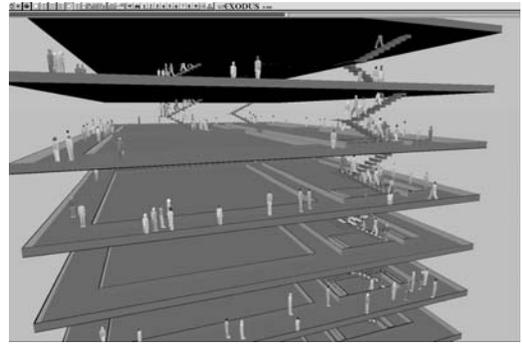
このうち後者は、二つの概念に基づく。一つは「ASET」(Available Safe Egress Time: 可能な安全脱出時間)で、火災の拡大により支配され、火災モデルにより決定されるもの。そこでは煙や温度、有毒ガスの影響などいくつかの人命安全の基準を設定し、さまざまなシナリオに応じて、計算火災力学に基づく火災シミュレーションを行う。もう一つの概念は、ビルから脱出する時間など実際の避難所要時間を示す「RSET」(Required Safe Egress Time)。これは人間行動によって支配され、避難モデルによって決定される。両者の関係は、建物の耐用年数などシナリオ以外の要素も影響し、 $ASET > RSET + \text{安全率}$ となる。

避難モデルの作成に当たって同氏はまず、「逃げる」という行動を合理的であるとし、「逃げずに立ちつくす」状態をパニックと位置づける。また、多くの避難状況は予測でき、シミュレーションおよび避難モデルの作成が可能。しかし現実には、人が期待される行動を常にとるわけではないため、実際に起こり得る人の挙動を理解して、避難モデルを作成する必要があるとする。

避難を支配する要素には、配置、行動、環境、手順などがあり、これらが相互に関連して行動を決定する。そこでFSEGでは、転覆列車、病院、イベント、航空機、船舶などさまざまな状況に関わる多くの実験や実例のデータを収集している。

「緊急時の人々の対応には、文化が反映されると思われれます」。同氏はそのような中で、韓国の大邱(テグ)で03年に発生し196名が死亡した地下鉄火災とロンドンでの地下鉄事故、それぞれのケースで行った面接調査を機にこうした見解に至ったと述べる。

また、緊急時以外の歩行者の力学にも文化的な影響があるのではとの発想から、上海とバルセロナで地下鉄駅構内のエスカレータ利用についても共同調査を実施。その結果、エスカレータ上に立つ位置は、上海の場合は左右であり差がなく、バルセロナでは8割が右側を選ぶなど、文化的な影響の一端が窺われたとし



「buildingEXODUSによる9.11世界貿易センタービル(WTC)ノースタワーの避難シミュレーション」このシミュレーションには約9,000人の情報が含まれる。

buildingEXODUS simulation of the 9/11 evacuation of the WTC North Tower  
The simulation involves approximately 9,000 people

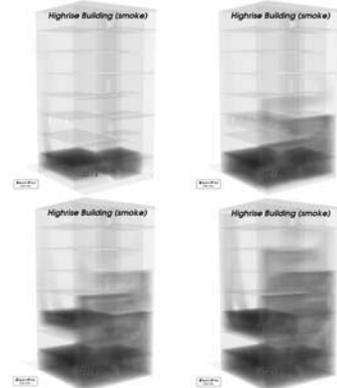
画像はエドウィン・R・ガレア氏提供 (Images provided by Prof Ed Galea, FSEG University of Greenwich)

ている。これに関しては、東京の場合のデータも収集中という。

## EXODUSとSMARTFIREの多様な活用展開

こうした人間の行動のモデル化に向け、エドウィン・ガレア氏らは自ら開発したEXODUSを用いて多様なケースを例に観察、検証してきた。EXODUSは、大規模かつ複合的なスペースにおける人の行動をシミュレーションするツール。buildingEXODUS(建築・都市環境)、airEXODUS(航空機設計)、maritimeEXODUS(海洋アプリケーション)、およびvrEXODUS(VRアニメーションツール)の4バージョンがある。そのうちbuildingEXODUSは避難および歩行者の動きをカバー、多様な形態の建築物に適用される。

同氏はEXODUSを利用した検討例として、サンフランシスコの地下鉄駅における乗客の流れ分析、野外コンサート会場における群集管理、WTCの生存者に対する面接調査に基づく避難シミュレーション、大型船や超大型航空機からの避難シミュレーションなどを列挙。予測モデルと実際の災害や実験結果など踏まえ、ツールとしての機能が検証されたとしている。



「SMARTFIREによる超高層ビル内に広がった火災と煙のシミュレーション」火災は、1階で出火し、煙が階段を通じて上階まで急速に広がる。

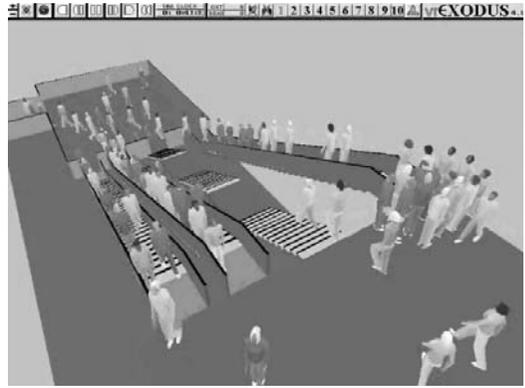
SMARTFIRE simulation of fire and smoke spread in a high-rise building  
The fire has started on the ground floor and smoke rapidly spreads through the staircase to the higher floors.

次いで同氏は、ASETと火災シミュレーションに言及する。やはりFSEGが開発した「SMARTFIRE」は、CFD技術を利用して、大規模な複合スペースにおける火災および煙の拡大をシミュレーションするもの。複雑な形状にも対応し、煙が航空機内で広がっていく状況もモデリング可能。煙や高温の火災生成物の動きを予測、COなどの有毒ガス生成や、霧など水による鎮圧の影響の概算値も得られる。

そこで実際の火災を例に、実寸の模型で火災を発生させ、SMARTFIREのシミュレーションによる予測(出火・拡大時間、温度、熱フラックス、CO、CO2など)と比較。シミュレーションと実験で似た結果が得られ、モデルの正確性が示されたとしている。

これらを受けて同氏は、火災と避難のモデリングの統合を計算火災工学が次に目指すべき対象と位置づける。RSETとASETの組み合わせ、つまり、SMARTFIREとEXODUSをリンクさせて火災と避難のシミュレーションを統合、避難モデルに組み込んでいく。実際の火災に基づくシミュレーションにより、ここでも実数とかなり近い犠牲者数が予測されている。

さらに、同氏は収集したデータを基にエスカレータを使う際の行動パターンの予測、あるいは高層ビルなどで避難人数やエレベータの台数、階段併用などの条件に応じて避難所要時間が得られるシミュレーション機能を開発中。一方、テロ対策向け避難シミュレーションのアプリケーションも検討、また、buildingEXODUSの並行実施によるシミュレーション



「エスカレータと階段の利用を含む歩行者の循環行動のbuildingEXODUSによるシミュレーション」エージェントは、階段とエスカレータのいずれを利用するか、またエスカレータを利用する場合、エスカレータ上を歩くか、歩かないかを決定する。

buildingEXODUS simulation of circulation behaviour of pedestrians involving escalator and stair usage  
Within the simulation the agents decide whether to use a stair or escalator and if using the escalator whether to walk the escalator or ride the escalator.

の高速化にも取り組んでいる。

buildingEXODUSとUC-win/Roadのリンクについては、建物からの避難モデルおよびトンネル設計の例を交えながら、とくにUC-win/Roadの高度な可視化機能に注目。エドウィン・ガレア氏は、更なる可能性に期待を示す。

計算火災工学と適切なデータを関連づけることによって、状況を恣意的に仮定するのではなく、モデル化することが可能になる。健全な工学的理解・判断とシミュレーションの連携を通じ、環境改善に資するべきという。

### ●● 特別講演 3

## 津波解析と災害制御

Analysis of Tsunami  
and Disaster Control

東北大学大学院  
工学研究科附属災害制御研究センター 教授  
今村 文彦 氏

Fumihiko Imamura, Professor,  
Disaster Control Research Center,  
Graduate School of Engineering, Tohoku University



「日本でなぜ、これだけ津波の研究が進んでいるのか」と、地震と津波がおそらく世界で最も多く発生していることがあります」

災害の専門家として最新のVR利用例を紹介する東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター教授の今村文彦氏。その研究は、津波を中心とする災害科学、国際的な津波防災技術の開発および移転、内外の歴史地震津波痕跡調査、認知心理学とそれを反映した避難シミュレーションなど、多岐に及ぶ。

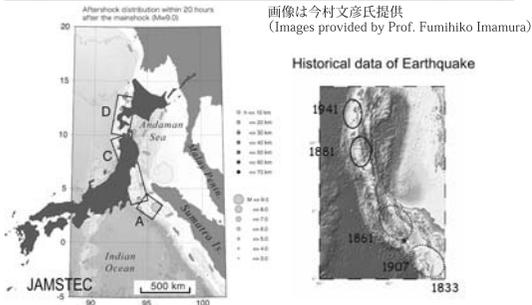
歴史的に資料が残るわが国最古の津波被害は、684

年の白鳳地震に遡る。以来、国内の地震や火山、地滑りなどにより発生した津波は200回超。これに国外から伝播されたものを加え、世界中の津波の約2割が、国土面積は世界のわずか0.2%に過ぎない日本に何らかの影響をもたらしてきたと述べる。

### 津波のメカニズムとその可視化アプローチ

今村文彦氏はとくに、地震と比べ発生する頻度は低いものの、何万kmと伝播する津波の影響範囲の広さに着目。そのメカニズムを発生(Generation)、伝播

## 2004 Sumatra Earthquake M=9.2 & Indian ocean tsunami



2004年スマトラ沖地震はM9.2もの超巨大地震だった。その長さも1000km以上にも及び、我が国の半分の長さに相当。地震に伴い発生した津波は、インド洋全体に被害を出した。

(Propagation)、遡上 (Run-up) あるいは浸水 (Inundation) という大きく三つの過程に分けて解説する。

まず、津波の発生は火山活動や地すべり、隕石の落下による場合もあるが、その9割は地震に起因するものとされる。そこで同氏は、逆断層型地震によって海底が隆起、その上の水が急に持ち上がることで生じた海面の変化が、海洋側へは小さな、沿岸部側へは大きな津波となって伝播するメカニズムを海底と海面の挙動のみにフォーカスしたCGで示す。

また2万人を超す死者をもたらした明治三陸地震 (1896年) については陸地と海面を単純化して表す3次元のアニメーションを使い、地震発生から津波が20~30分で沿岸部に到達、当初は単調だった津波の形状がリアス式海岸や海底の地形の影響を受けて複雑なものへと変化する状況を再現。津波解析ではこうした地形データがいかにか重要かを説く。海域がある限り伝わるその巨大なエネルギーの一端は、チリ津波 (1960年) で約17,000km隔てた日本に大きな被害をもたらしたことから窺われる。

やがて津波が遡上・浸水し、人命や財産に被害をもたらす。これに対しても津波が段波的にやってきて、

### The 2004 Tsunami Generation and Propagation



東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センターでは、津波発生直後から解析を始め、地震データや現地からの津波情報から、良好に再現できるモデルを提案している。

一部は反射しつつも大部分が内陸へと這い上がっていく様子、とくに直接海と繋がっている川では津波が上流部まで遡上している様子、さらに次々と打ち寄せる津波が浸水していく様子などを、陸地側にウェートを置いたアングルで可視化している。

「ご覧いただいたCGは本当にシンプルなものなのですが、最近ではVRを少し取り入れたいと考え、いろいろチャレンジしているところです」

この明治三陸地震津波に関しては生存者の証言に基づき、津波の挙動や特徴のほか、何が人々の生死を分けたかといった情報が風俗画報に残され、その後の研究にも寄与してきた。一方、今村文彦氏は従来のCGによる手法を発展。砕波過程や津波のダイナミックな影響などを高精度に反映させることで、津波が遡上・越流してきて内陸へ入っていく状況をよりリアルに、かつ陸地側の人の目線でも把握可能な映像化を進める。その先には、千年以上にわたるデータを出る限りデジタル化し、Webサイトを介して公開。ハザードマップの活用などと併せ、津波被害の軽減に資するものにしたいとの狙いが込められている。

### スマトラ島沖地震／津波を例に多様な検討、VR活用も

講演後半は、そうした一環としてスマトラ島沖地震・インド洋津波 (2004年) における津波のメカニズムや被害状況の再現、VR活用を含め対応策を探る取り組みなどに触れる。

インド・オーストラリアプレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいる一帯 (subduction zone) はもともと地震が多発しているところ。そこでマグニチュード9超、震源域1,200kmにわたる巨大地震が発生、それに伴う大津波が引き起こされた。

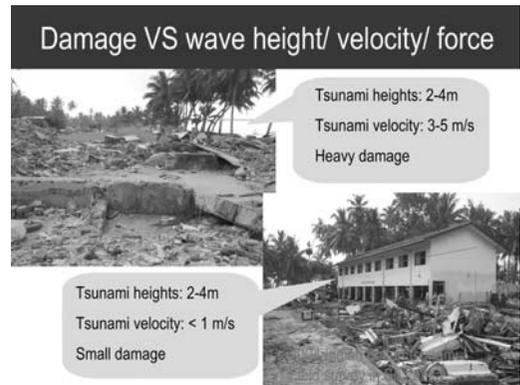
「その様子を一般の方にも分かっていたきたい」との狙いから今村文彦氏はNHKと協力してCGを作成。たとえば、海底の沈み込み帯で地震が発生し、断層運動 (fault motion) により海底が南北に割れていく。水深が深いため、当初の津波は海面にゆったりとした波を生じるに過ぎないが、沿岸部に近づくに従って勢いを増大。陸地側に視点を移せば、初めは引き波で魚が跳ねているかと思うと、次いで大きな押し波が襲ってくる。津波の砕波を再現するに当たってはハワイの波の映像も挿入。さらに津波がバンダ・アチエ (インドネシア) の町中へ侵入、あるいはスリランカで列車が津波に飲み込まれてしまう—といったシーンを含め臨場感のあるアニメーションで表現している。

同氏は一方で、津波の数値シミュレーション技術についても検討してきた。これは、地震発生直後に震

源域やマグニチュード、地震メカニズムなどの情報を入力し、津波が時間の経過とともに発生・伝播していく過程をリアルタイムにシミュレーションしようというもの。ただこのようなシミュレーションには通常、かなりハイオーダーのモデルや大容量のメモリが必要で、スーパーコンピュータを使ってリアルタイムでの対応は難しい。

「そこで我々は、近似度が低い物理モデルを使い、しかもCPUをセーブしながら行う方法をこれまでに提案してきました」。つまり、もともと微分方程式で表される物理モデルをシミュレーションする際に差分法で離散化。本来の物理式と違うために生じる誤差を数値的エラーとして表現。普通はこれを取り除くことでシミュレーション精度が上がるところを、逆に利用し調整することにより高次のモデルに匹敵する高精度なシミュレーションが短時間で可能になる、と今村文彦氏は説明する。このテクニックは米国海洋気象圏局（NOAA）太平洋津波警報センター（PTWC）の津波シミュレーションでも使われているという。

また、同氏らは自ら作成したシミュレーションと旅行者によって撮影されていた実写映像、あるいは被災後の写真などと比較しつつ解析を進めている。その際、海岸線の家々がほぼ跡形もなく全壊している中で、まれに残っている家の存在に注目する。同様な津波の高さ・流速に曝されながら、なぜ、そこだけエネルギーが減衰されているのか、というわけだ。その解の一つのヒントとなるのがマングローブやココナツの木などの植生で、同氏は「防波堤などで防ぎきれない津波エネルギーの減衰に透過性の高い植生がどのように機能しているのか」「どのような植生が、どこまで破壊から守ることが出来るのか」、そのほか植生の想



現地調査を実施していく上で、同程度の津波高さであるにもかかわらず、被害状況が大きく異なる場合がある。これは推定される流速（波力）が大きく異なるため。その低減の役割を植生（マングローブなど）が持っているものと考えられる。

定されるさまざまな機能について明らかにしていきたいとしている。

「現在、シミュレーションによりどのようなタイミングで警報を出せば、どれだけの人命を救えるかということを検討しています」。たとえば、スマトラ島沖地震では1000 km超の断層運動が10～30分続き、PTWCから最初の情報が発せられたのは地震発生から15分後、しかも当初はM8とされた。バンダ・アチエへは20分後に第一波の津波が押し寄せ、40分後には完全に浸水している。PTWCからの第二報は約70分後で、なおM8.5と実際より小さな値のままだった。これに対して当時、現地の暴露人口（exposed population）は最初の10分間が数百人、20分後6万人、30分後10万人、60分後14万人と算出。単純に津波警報は10分以内に出す必要があり、暴露人口に対する死亡率は約50%という結果を得た。こうした状況を踏まえ、今村文彦氏は災害制御のさらに詳細な検討を当面の課題と位置づける。

## 3D・VRモデリングをめぐる国際的ネットワーク「World 8」 共通プラットフォーム構築ニーズを受けた組織化の流れと多彩な研究アプローチ(1)

都市モデルの作成には時間と労力が非常にかかる。また、高度に発達し注目される技術でありながら、建物を置いてフライスルー（flythrough）で見るといった利用に依然留まっており、それを何とか交通や人間のモデルなどダイナミックなエージェント（動的な行為主体）を置くようなものでもう少し活性化させたい。しかも、さまざまなフォーマットやツールが開発されてきた反面、プラットフォームが一致しないと研究者が互いに研究を共有しようとしても難しい。アリゾナ州立大学（ASU）建築環境デザイン学部建築・ランドスケープ学科助教授の小林佳弘氏は、VRをめぐる今日の問題点をこう指摘する。

そのような中から、同氏により「建築および都市計画へのVR利用に関する研究開発のフレームワークを開拓したい」とのビジョンが描かれ、UC-win/Roadを共通のプラットフォームとし、世界8大学の建築系研究者に参加を呼び掛けようという「World 8」構想の提案に繋がっている。

この趣旨に賛同、「World 8」を構成したメンバーは、ハーバード大学大学院デザインスクールのコスタス・

タージディス (Kostas Terzidis) 准教授および同デザインスクール博士課程の植原太郎氏 (いずれも米国)、マギル大学建築学科長のマイケル・ジェムトラッド (Michael Jemtrud) 准教授 (カナダ)、ニューキャッスル大学建築・都市計画・景観学科のカルロス・カルデロン (Carlos Calderon) 教授 (英国)、バーレーン大学工学部のワーイル・アブデルハミード (Wael Abdelhameed) アシスタントプロフェッサー (バーレーン)、ザード大学ドバイ校総合科学部のロナルド・ホーカー (Ronald Hawker) 准教授 (UAE)、チリ・カトリック大学建築・設計・都市研究学部のクラウディオ・ラバルカ・モントヤ (Claudio Labarca Montoya) 准教授 (チリ)、大阪大学大学院工学研究科の福田知弘准教授 (日本)、および小林佳弘氏という7カ国8大学にわたる9氏。

「それぞれの国や文化に根差し、どのような新しいVR利用が可能なかを考えて欲しいということで、各大陸から建築系の学術研究者を選びました」

「World 8」の実質的な活動は、「第1回国際VRシンポジウム」(07年11月20日)からスタート。その後12か月間かけて、各参加者が同じプラットフォームを用い、それぞれのアイデアを実装。そうしたモデルや開発されたツールを共有することで、VRアプリケーションに関する知識の蓄積を目指すこととされた。途中、08年8月12～14日にはASUでVRワークショップを実施。UC-win/RoadによるVRモデリングの研修やその後の活動・研究について議論を行っている。

「World 8」としての活動が区切りとなる「第2回国際VRシンポジウム」では、UC-win/Roadを使って各メンバーが表現したアイデアを発表。以後はそれぞれの知見や成果を世界の学会で積極的に発信していく。他方、今回の成果を利用してさらに大きな研究プロジェクトへの展開、あるいは建築学分野におけるVR教育プログラムの開発も視野に入れている、と小林佳弘氏は述べる。

各メンバーの研究発表は以下の通り。なお、都合により、ワーイル・アブデルハミード氏 (バーレーン大学) はビデオ参加、マイケル・ジェムトラッド氏 (マギル大学) に代わって同大建築学部客員教授のトーベン・バーンズ (Torben Berns) 氏が代理参加したほか、カルロス・カルデロン氏 (ニューキャッスル大学) は急遽不参加となった。

(前編は初めの3氏まで。残る5氏については後編(3月号)にて掲載します)

「World8」研究発表 1

## デジタル・フェニックス・プロジェクトから リアルタイムVRモデリングへの展開

Development to Real-time VR Modeling from Digital Phoenix Project



アリゾナ州立大学  
建築環境デザイン学部建築・ランドスケープ学科  
助教授

小林 佳弘 氏

Yoshihiro Kobayashi, Assistant Professor,  
School of Architecture & Landscape Architecture,  
College of Architecture & Environmental Design,  
Arizona State University

『デジタル・フェニックス・プロジェクト』が始まる前、私はフォトグラメトリ (写真測量) 技術を利用した3次元都市モデルを研究していました。実際、飛行機をチャーターして航空写真を撮影、そこから3D都市モデルを作成し、出来上がったモデルについてはVRシアターで発表。また、たとえば、それを応用して建物にカーソルを当てると関連情報が表示される、といった3D・Webアプリケーションのデータベース化などにも取り組んだ。さらに3Dプリンターを使い、タンジブル・インターフェース (触れることの出来るインターフェー

ス) にして、大きな物理モデルと小さなインターフェース、Webアプリケーションの三者を連動したツールなども開発してきた。とアリゾナ州立大学 (ASU) 建築環境デザイン学部建築・ランドスケープ学科助教授の小林佳弘氏は振り返る。

### デジタル・フェニックス・プロジェクト、 これまでの取り組み

06年から予算100万ドル、期間4年間の「デジタル・フェニックス・プロジェクト」がスタートした。それに



UC-win/Roadによって作成されたフェニックス市街地にアクセスする高速道路I-10のモデル。実際のラッシュ時の交通量を忠実に再現している。



実際のI-10のラッシュ時の映像

画像は小林佳弘氏提供 (Images provided by Prof. Yoshihiro Kobayashi)

先駆け、ASUは自らの新しいアメリカ型総合大学を目指す包括的な開発計画、およびそれを含むフェニックス市のダウンタウン開発計画を進めるに当たり、05年に異なるシナリオに応じて未来を可視化・シミュレーション可能な「ディジジョン・シアター（意思決定シアター）」を設置している。そこでは7枚のスクリーンから成る260度の3Dパノラマビューにより、VRの世界を体験することが出来る。「デジタル・フェニックス・プロジェクト」は同市に関わる過去・現在・未来の3Dデジタルコンテンツを作成。最終的には、同シアターでそれらを使いシミュレーションや可視化できる環境を整えようというもの。ASUの各機関・教職員はもちろん、行政機関などとも連携した取り組みが進行中だ。

小林佳弘氏自身はリーダーとして3D都市モデルを作成するパートを担当。また別のグループは人口統計学的データや将来シナリオを基に、まずUrbanSimにより将来の人口予測や住宅・職場の分布などを、次いでTRANSIMSにより将来の交通量の推移などをシミュレーション。さらにそれらの結果をUC-win/RoadによりVR環境で可視化して検討する、といったフレームワークの2010年までの構築を目指している。

同プロジェクトが始まった06年には対象エリアのすべての道路網と主要なビルディングを再現、それを同年11月の「3D・VRシミュレーションコンテスト by UC-win/Road」(フォーラムエイト主催)で発表している。06年～07年にかけては、すべての交差点に車線条件を設けて交通流を発生させ、並行して、ASU内でも同じ技術を利用して何が出来るかを検討した。「SIGGRAPH 2007」ではフォーラムエイトのブースでそれまでの成果をデモ。続く07年の3D・VRシミュレーションコンテストでは、翌年に運行開始が予定されたLRT(次世代型路面電車システム)の路線や駅もVRで表現して発表。

このVRモデルは同市市長に注目され、公式のスピーチでも取り上げられた、と小林佳弘氏は語る。

その後、UC-win/Roadを活用した新たなチャレンジの一環として、幹線道路からどのようなルートを通して車が駐車施設へ行くのかを表現。実際の交通量を考慮し、そこに発生する交通流をアニメーションで可視化するモデルを作成した。また、iMoveおよび6方向の視界を撮影可能な特殊カメラを使って取得した実際のシーンの映像とUC-win/Roadのモデルを同時に表示、都市スカイラインの変化などがVRで正確に再現されることを検証。さらに、作成したVRモデルをGoogle Earthに吐き出し、実際にそれがリアルタイムで動くことも確認している。

### リアルタイム 3D モデリングの提案

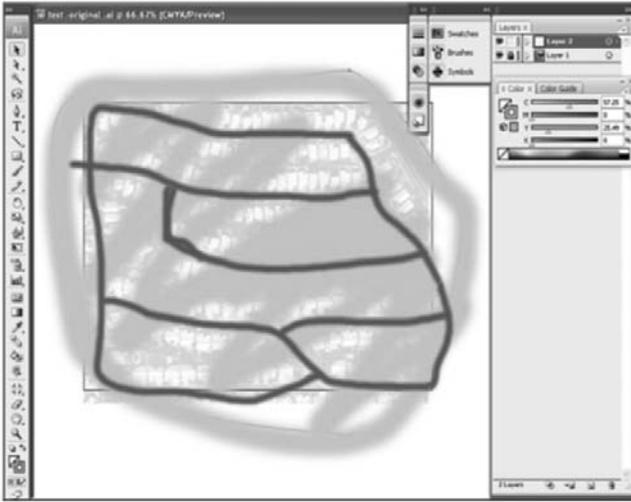
「米国では近年、都市開発に際してcode(規準)を基に、将来どんな街になるのか簡単に表現できないかという(発想から)Form-Based Codes(フォームベース・コード)の一つ、SmartCode(スマートコード)によるプロジェクトが始まっています」

小林佳弘氏は自身が注目する3D・VRの展開方向としてまず、SmartCodeとの連携を挙げる。これは、たとえば、開発対象の都市をさまざまなゾーンに分け、3Dで可視化するのはもちろん、コストやエネルギーなどを含めてシミュレーションするもの。これにより、道路網を入力することでゾーンごとに異なる街の景観や将来像を把握できる。

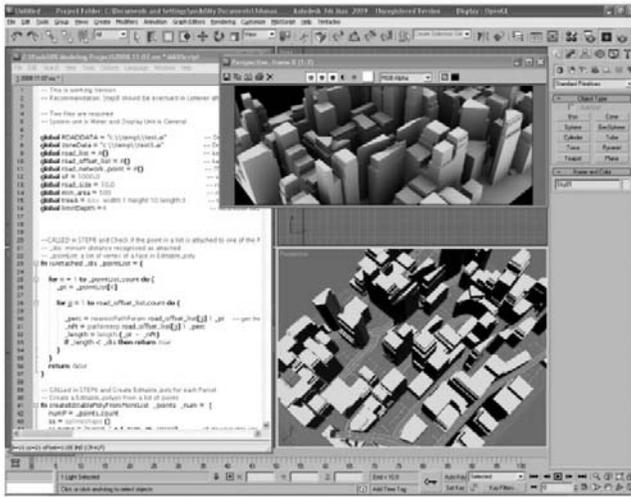
またProcedural Modeling(手順モデル)は、手順をコード化することにより少ない入力作業で自動的に3D都市モデルの作成が可能。これについては、すでに複数のツール化も図られているという。

さらに、専門知識がなくても画像ベースで容易に

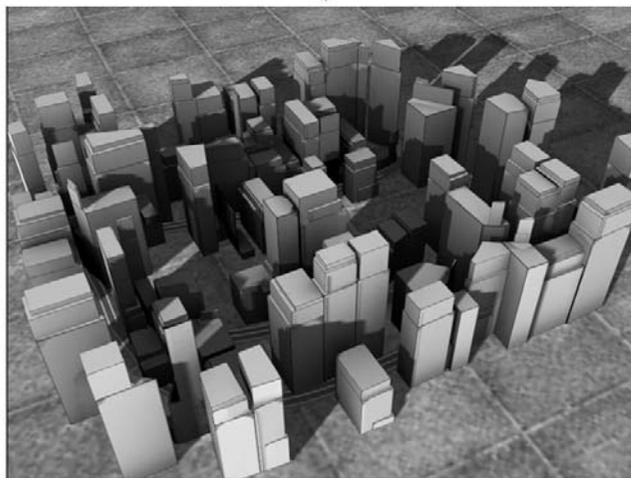
「Form-Based Codeを利用したリアルタイムVR都市作成ツールのプロセス」



入力データである道路ネットワークとゾーニングを描いたシーン



入力データから3DS Max上で、Procedural Modelingの手法を用いて生成された3次元都市データ



3DS Max上で生成されたモデルとそのテクスチャがUC-win/Road上に自動的にインポートされたもの

3Dモデリングを行える「KISS Modeling」、作成したデザインを皆で共有するための「Wiki-design」、大量のデザイン・データを効率的に管理する「Design Map」という三つのコンセプトについて紹介する。

「VRモデリングには時間と労力がかかります」。一方、アルゴリズムなどそれを生成する方法はほぼ出来てきている。市場にそのようなモデルをつくってみたいというニーズが多いとはいえ、自分で最初からそのようなツールをつくるには時間やコストの制約がある。

そこで小林佳弘氏はそのソリューションとして、すでにある地形データや衛星写真を基に人間や建物、道路、交通などをリアルタイムにモデリング、最後のアウトプットを一般ユーザーが利用する—といったフレームワークを提案する。

今回発表では、Illustratorでラインを描き、Photoshopでゾーニング。それを3ds Maxが読み込んで、たとえば、3Dの建物モデルをProcedural Modelingのアルゴリズムで自動的に生成。それらを、開発したSDK（ソフトウェア開発キット）を使ってUC-win/Roadにインポートすれば3D都市モデルがリアルタイムに発生する—というワークフローをデモンストレーションしている。将来的にはこのフレームワーク自体がUC-win/Roadのプラグインとなり、リアルタイムの3Dモデル生成に繋がることを期待している。

「今回私たちがつくったデータは他の研究者と共有することで、さまざまなアルゴリズムを試したり、スタイルを発生させたりし、積極的に提案していきたいと思います」

# 確率的探索(ストキャスティック・サーチ)による モデルの自動生成とUC-win/Road

Automatic Generation of Models Using Stochastic Search and UC-win/Road



ハーバード大学大学院  
デザインスクール  
准教授

コスタス・タージディス 氏

Kostas Terzidis, Associate Professor of Architecture,  
Graduate School of Design, Harvard University

「デザイン」とは、単に2点間の空白を埋める作業というふうなものではなく、制限のない自由なものごとを行うという期待が伴う。すなわち、新たなものを創造し、発展させる。これこそが、デザイナー。

ハーバード大学大学院デザインスクール准教授のコスタス・タージディス氏はまず、自らの研究をかなり異質なものとしつつ、ただ、小林佳弘アリゾナ州立大学助教授のそれとは近いものがあると位置づける。その上で、冒頭、改めてデザインの概念についてこう解説する。

## 確率的探索の考え方

「これは、私がここ一年ほど研究してきた、建物の計画(平面図)を自動的に作成するという考え方です」

デザインは従来、設計者が自ら決定を行うもののように捉えられてきた。しかし同氏はここで、設計者のために、設計者が関与することなく作成されるものとの観点を示す。

次いで、建物の平面図や敷地、計画(入口および2階より上の事務所や通路の種類と数)、設計上のいくつかの制約を図示。とくに、最終成果を作成するために、これらの制約が総合的に適用されると位置づける。

たとえば、一回の動作で事務所等の配置を表現。二回目にはそれとは異なる配置が現れる。こうして同じ動作を何度も反復していくと、最終的にソリューションが見つかる。中でもその興味深いポイントとして、すべての可能性を一つずつ検証する作業が積み重ねられることを挙げる。そこでは当然、比較的長い時間を要することも

あり得る。しかし、何度もそうした作業を繰り返すうちに、ある時点で問題の解決法(ソリューション)に到達。それを建物の計画(平面図)として用いることが可能になるといふもの。

これが「確率的探索(ストキャスティック・サーチ: Stochastic Search)」と呼ばれるアプローチだ。ギリシャ語に由来する「Stochastic Search」は「暗闇の中で探し物をする」といった意味を持つという。

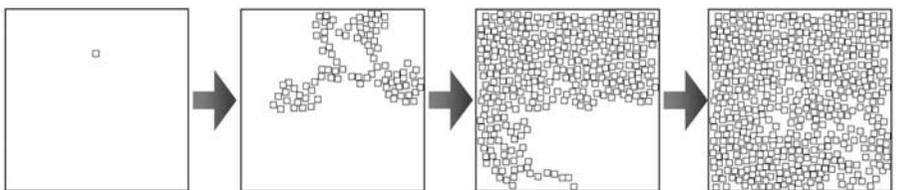
この概念を示すため、同氏は土地区画において、たとえば家のようなものを「□」で表し、それが当該エリアを占有していくというイメージを描く。これは他の家にかからないようにすれば、区域内のどこでも自由に置くことができる。その作業を続けていくうちに、最終的にはエリア全体が「□」で埋め尽くされることになる。

「これは一種の確率的探索です」。ただし、この例では近接性の制約はない。そこで今度は、直前の位置に基づく方法も示す。すると、ここでも歩き回るに従い次第に「□」が広がっていき、最終的にはすべての街路が埋め尽くされる。しかしこの場合は、一歩ずつ進む方法(stepwise fashion)によりエリア全体が占有されていくというプロセスが分かる。

## 確率的探索から捉えた UC-win/Road

「私がUC-win/Roadに関心を持った点は、ここでも、とくに期待していないものごとを生成するデザイン指向の状況を作り出すための、バックグラウンドとして捉えられるということです」。

確率的探索アルゴリズム  
A stochastic search algorithm



画像はコスタス・タージディス氏提供  
(Images provided by Prof. Kostas Terzidis)

その際、「とくに期待していないものごと」というのは、それについてのヒントはあっても、最終的にどのようなかを実際に知ることが出来ない何か、とする。UC-win/Roadの場合、それがトンネルや道路、あるいは景観を自動的に作成するときデザイン指向の状況と極めて類似した状況にある、とコスタス・タージディス氏は注目する。したがってシミュレーションを目的に、それぞれ特定のニーズと実際に適合するものをつくっても良いし、あるいは映画のようなものをつくりたいという場合にも対応し得る。

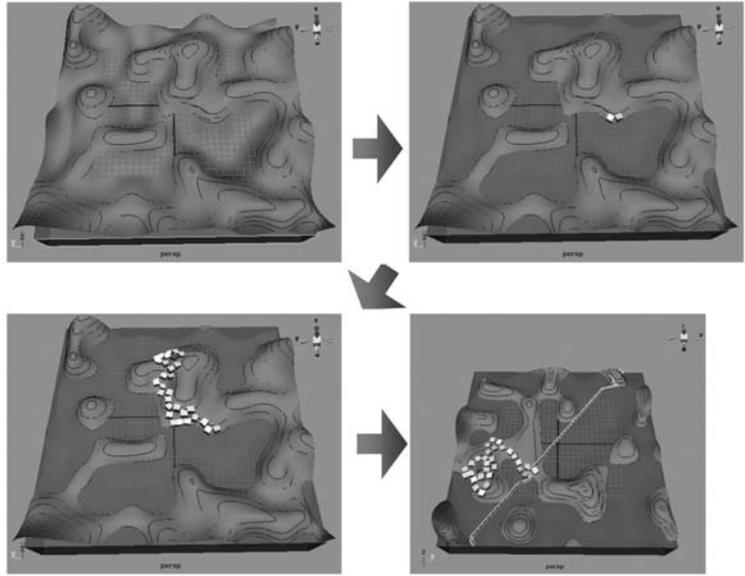
そこで氏は自動的に河川や渓谷などを作成する例を交え、このような概念のイメージを具体的に示す。

まず、ベースとなる地形に水域を加え、次第にそれを追加していくのと併せ、等高線を作成。その後、確率的探索と同様、一定のルールに従ってエリア内に要素を追加していく。たとえば、建物をどのようにさまざまな場所へ配置するかという場合、近接性を考慮してすべての家は直前に配置した家と近くなればいけないとか、眺望が良くなるよう等高線に沿って配置するといった制約が考えられる。その都度、前回よりも良い結果を得るためにあらゆる種類の制約が適用される。ただ、最終的な結果は予想できないとする。

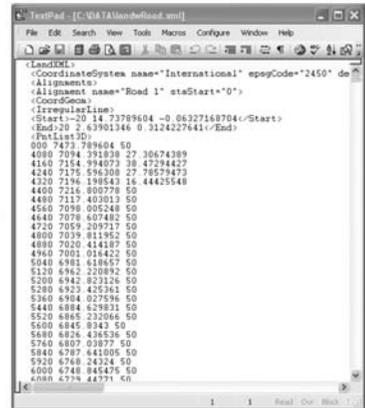
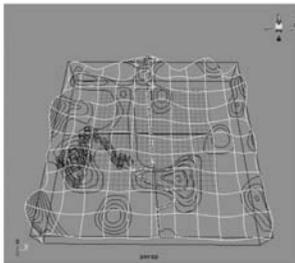
次いで、町をつくる。家を増やしていったエリア全体を家で埋め尽くすことも考えられる。しかしここで、「街路についてはどうすれば良いか」という疑問を生じる。さらに、丘陵や水域がある場合、橋をかけたり、あるいは行き止まりにしたりといった複雑な種類の景観も考慮する必要がある。こうした課題に対処するため、同氏はやはり確率的探索により、問題を一段階ずつ検証し、最終的に何が分かるまで何度も繰り返し行うという手法を取る。

また別の例ではグリッドシステムを用い、スライシングにより空間内を切断する線を挿入。ただし、これは研究のためのもので、実際にはその表面を利用し、そこにMAYAを使って村落を作成。続いて、ある1点を起点に

### 確率的探索を利用した景観、住宅地、および道路の自動生成 Automatic generation of landscapes, settlements, and roads using stochastic search



景観および道路のデータを UC/win Road ファイルに変換するスクリプト  
Script that converts landscape and road data into a UC-win/Road XML file.



別の点を終点とするやり方で設定を繰り返し変えながら、道路を自動生成していく。

作成した景観および道路のデータは UC-win/Road (XMLファイル) にエクスポート。それを反映し、丘や川のある地形、道路とそこを走行する車といった3次元VR空間が再現され、上空あるいはドライバーからと視点切り替えながら、この映画のかつ想像的な UC-win/Roadの世界が展開する。同氏は「まだ完全ではない」としつつも、そこには複雑なプロセスを含むアルゴリズムが組み込まれていると説明する。

これは一種の自動生成されたバージョンとも言え、ここではあらゆる技術が駆使されている。系統的なアルゴリズムにより、ユーザーは直前の位置に基づき次に移動する位置の方向を見る。注目する場所、仰角、近接性、

標高、傾斜、速度などを反映、走行する都度、どのように見えるかも変わってくる。

「別の興味深い点は、すべてのものが幾何学的な値としてスクリプトにおいて生成されること」と、コスタ

ス・タージディス氏は述べる。つまり、モデルがXMLにエクスポートされ、さまざまなコンテンツが生成される。しかもこのような一連の作業が自動で行われるわけで、その理想的な機能の可能性に期待を示す。

「World8」研究発表 3

## よりリアルなエージェントベースのモデルへ、 モーションキャプチャ・ファイルを利用

Using Motion Capture Files to Make Agent-based Models More Realistic



ハーバード大学大学院  
デザインスクール  
博士課程  
榎原 太郎 氏

Taro Narahara, Doctor of Design Student,  
Graduate School of Design, Harvard University

榎原太郎氏は現在、ハーバード大学大学院デザインスクール博士課程に在籍、先に発表を行ったコスタ・スタージディス氏（ハーバード大学大学院デザインスクール准教授）の下でデザインコンピューティングの研究をしている。同氏とはかつて、いずれもニューヨークに拠点を置くグラックマン・メイナー・アーキテクト（Gluckman Mayner Architects）およびスキッドモア・オーウィングズ・アンド・メリル（SOM: Skidmore, Owings & Merrill LLP）で建築家として各種プロジェクトに参加してきた。そうした中で、構造体としても形状的にも非常にユニークかつ複雑なプロジェクト、ミュージアムコーン（森美術館）の設計を担当した際、幾何学的に還元された情報に基づき、すべてCAD上で3次元形体を立ち上げ、そこでエンジニアや施工業者らと緊密に調整を図りながら進めるという作業を経験。コンピュータを使ったデザインに強く興味を持つきっかけになったという。

### ボトムアッププロセスへの着目

一方、伝統的な設計プロセスにおいて徹底したトップダウンの考え方に基づいて組織化されている現状には疑問もあった。建築空間の設計は本来、居住者との関わりが重要なはず。にもかかわらず、トップダウン型の手法では組織全体がトップの描く目標に沿う形で機能することが求められ、設計が居住者にもたらす影響への考慮は制約されがちとなる。

これと対極を成すアプローチとして、榎原太郎氏はボトムアッププロセスに注目する。

その典型例が、複雑な歴史背景を反映して極めて特殊な変遷を辿った九龍城砦（Kowloon Walled City）だ。と

くに、1950年代から90年代に取り壊されるまでの間、そこには人々が無秩序に住み着き、次第に巨大なスラム街を形成。建築的な法規なども存在しないままに、流動的かつ有機的な建築物として成長を遂げている。住環境として理想的とは言い難いが、その過剰な人口推移に対する構造体としての順応性には目を見張るものがあった。

同様な例は自然界にも見られる。たとえば、シマウマの縞模様や貝殻のパターンなどのように、生物は自ら細胞レベルで変化（自己組織化）しながら、最終的には環境に非常に適合した形体を獲得していく。またシロアリの群生は、リーダーもデザインも持たず、極小的な対話の積み重ねによって最終的に意味のある形を生み出したものと位置づけられる。

このような手法を建築にも使えないか。今日の有名な建築は多様な要求に対し、非常にカスタマイズされた特異解として出てくるものが多い。しかし全体をデザインする段階では、将来の環境や仕様の変化も予め視野に入れて構成していく必要があり、それが次第に合理化され、建設へと導かれる。そこへ新たな考え方を導入し、適合性が高く堅牢性のある建築の設計システムを構築できるのではとの発想に至った、と榎原太郎氏は説く。

### 人間行動モデルの高度化アプローチ

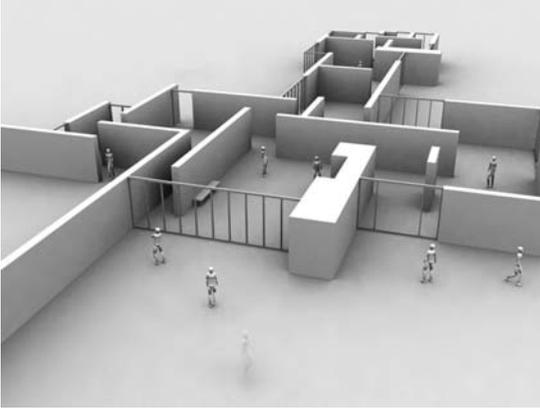
建築家としての活動を経て、同氏が奨学金を得、マサチューセッツ工科大学で研究した際、テーマとしたのは「人間行動モデルの視覚化」。とくに、エージェントベースの技術を使い、建築の空間的特性に対する人間の心理学的反応を可視化することで、居住者への設計の影響をデザイ

ナー自身が考慮できる支援ツールの開発を目指した。

まず、建築空間内でエージェント（仮想フィギュア）が活動するためのツールを作成。エージェントには他者との関係性やパーソナルスペースなどプライバシーの要素がプログラムされた。次いで、2Dのプラットフォーム上でこのフィギュアを使ってシミュレーションした後、3d studio Maxにより複数の建築家がデザインした空

### エージェント技術による人間行動パターンの可視化

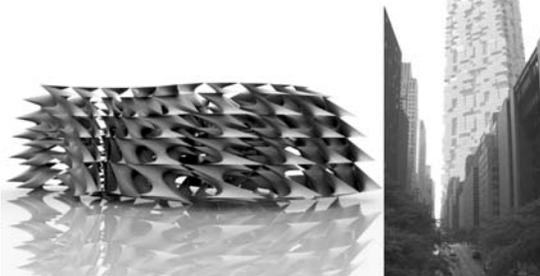
画像は橋原太郎氏提供 (Images provided by Mr. Taro Narahara)



UC-win/Road 上で人間行動モデル、モーションキャプチャのデータを統合



### 創発的思考システムの建築計画への導入



間を3Dで再現。そこへフィギュアを挿入し、壁や家具、池などを設置したり、消したり、移動させたりすることにより、人の動きに生じる変化を可視化している。

その結果、たとえば、20世紀のモダニズムを代表する建築家ミース・ファン・デル・ローエ (Mies van der Rohe) の作品が家としてどう機能するかといった観点から、挿入したフィギュアのスケール感や行動特性を見ながら、デザイナーが随時設計を変更するなどして検討できるプラットフォームになり得るものと考えられた。

続いて橋原太郎氏が目指したのは、「このエージェントにどこまで心理学的な特性を盛り込めるか」ということだった。その一環として、人間の動きをリアリティに可視化するため、各関節にセンサーを装着した被験者の動作をデータ化、その得られたモーションキャプチャ・ファイルをUC-win/Roadへ持ってこれないかという着想が描かれた。

まず、モーションキャプチャ・ファイルを使ったモデルをつくり、それをMD3ファイル形式にした上で、UC-win/Roadへエクスポートした。「まだストレートに移す方法がないものの、フォーラムエイトの協力も得て、一応こういうことが可能であるということを確認できました」

その具体例として、今回は交通量が非常に多い東京・渋谷のスクランブル交差点をUC-win/Roadで表現。そこに自身が作成したエージェントベースの人間行動モデルとモーションキャプチャのデータを統合した。「エージェントはシンプルな形状のフィギュアを使っていますが、歩き方自体は人間の歩き方から直接取っているため、自然な動きになっているはずです」。また、出来るだけ多くのエージェントを動かしてみようとの狙いから、既存の知識を活用してプログラムされた多数（デモでは100人に設定）のエージェントを実装、それらが互いに衝突を避けながら行き交う状況もリアルに再現されている。

建築家が空間を設計する場合、形に酔ってしまうような面も否めない。その意味からも橋原太郎氏は、人間の行動パターンに対してどのような空間の形体が最適なのかを解析、容易に可視化できるUC-win/Roadの機能性に注目する。

「このようなツールに、意思を持って動くような自律的な駆動性を備えた要素が統合されていくことで、今後われわれ建築家に新たな可能性をもたらしてくれるものと期待しています」

本特集内で使用した会場および講演者写真は(株)フォーラムエイト提供 (ただし、ナシュワン・ダーウッド氏の写真はご本人提供)。(「World 8」の研究発表4以降は、3月号本特集<後編>に掲載します)