

1. 研究の経緯

はじめに

本書で解説する三次元アーカイブスの技術開発と適用事例は、平成 22-26(2010-14)年度の5カ年に亘り国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」と略記）が実施した二つの研究課題の成果である。最初の3年間に実施した「三次元住宅情報の永久保存技術に関する研究」（1-1）では、土木建築施設を記録した三次元データの長期保存に関する過去の技術のレビューと、提案的なシステムの試作を行った。これに続く2年間に実施した「地域居住空間の三次元アーカイブスの利活用」（1-2）では、長期保存用サンプルデータの作成と、これを用いたいくつかの利活用形態のデモ、テストを行い、最終的な成果として三次元アーカイブスの作成と利活用の事例報告と、本書に掲載した様々の技術資料を作成した。更に、本研究の成果の内、技術的内容（アルゴリズム等）を「明細書」の形で文書化した上で、これを記録保存すると共に同一分野の既存技術に対する進歩性を明らかにすることを主目的として、本研究に関係する4件の特許出願を行い、全て登録されている。

1-1. 三次元住宅情報の永久保存技術に関する基礎的研究

平成 22~24(2010-12)年度に、住宅等に関して作成された CAD データ、GIS データ等を、建物の寿命を超えて長期保存するために利用可能な既存技術、新たに解決すべき技術的課題を調査・研究し、提案的な技術開発を行った。

国総研の前身である建設省建築研究所第一研究部と土木研究所環境研究部において、1993 年度から景観シミュレーションの技術開発が行われ、土木建築施設や町並に関する三次元データが作成・蓄積されたが、Micro Station、Mini Cad、City Sight、Attract、Auto Cad、Studio 3D max 等の商用 CAD ソフトで入力された建物や点景のデータ、ステレオ空中写真から作成した地形データ (DEM) 等のデータ形式 (フォーマット) は大きく変遷し、その都度コンバータを作成して入力・編集を行った。この間、上記のような三次元データを扱う商用ソフトウェアの側でも、各種形式の入出力機能を備えるのが一般的となった。一方、1990 年代前半のデータ形式 (主にプロッタ等を駆動して線画による図面を作成することを目的としていた) は古い過去のデータ (レガシーデータ) となっていた。

これと共に、記録媒体も、データカートリッジやフロッピーディスクから MO、CD-ROM、DVD 等に急速に変化し、古い媒体に記録されたデータは媒体の劣化やドライブの製造中止により利活用が困難な状況になった。

三次元データを地元説明会などに一時的に利用する場合には、最新のシステムと一時的な記録媒体を使用すれば目的を達することができる。しかし「ライフサイクルに亘って」と謳う CALS/EC(Continuous Acquisition and Life-cycle Support/Electronic Commerce) の本来の理念のように、建築物等を記録した各種データを、記録対象である建築物等の寿命を超えた長期にわたり利活用するためには、データ形式の変遷 (陳腐化) と短命な記録

媒体は大きな障害となる。これに対処した最新のデータ形式への変換と新たな記録媒体への継続的な載せ替えは、データストックの増大に伴い大きなコストと手間を必要とする。

そこで本研究においては、従来の各種技術の変遷を調査するとともに、将来長期に亘る記録データの利活用を図るためのローコストで手間のかからない技術的手段を提案することを目的とした。

過去の記録形式や媒体に代わり、今後作成する物件に適用される新たなデータ形式や新しい記録媒体の採用を提案することと、その新たな形式や媒体の永続性を主張することは矛盾する。

(1) 平成 22(2010) 年度

①記録媒体に関する調査研究

旧建設省建築研究所において、1970年代以来各種のデジタルデータを保存するために使用されてきた記録媒体について発展過程を調査し、媒体と読み書きのための装置（ドライブ）等のサンプルを収集した。これには、パンチカード、磁気テープ、データカートリッジ、フロッピーディスク（8インチ、5インチ、3.5インチ）、光磁気ディスク MO（5インチ、3.5インチ）、DAT、CD-R、DVD-R、コンパクトフラッシュ、SDカードなどが含まれる。

②データ形式に関する調査

本研究に先行して建設省建築研究所・土木研究所において開発した景観シミュレーション・システム(1993-)の運用に際して、様々の CAD データ、GIS データの景観検討への活用のために、ファイルコンバータが作成され、C 言語によるプログラムの蓄積があった。

その後産業分野において設計過程で作成される CAD データを製造工程 CAM で活用するためのデータ形式が急速に発達し、建築分野にも影響があった。土木・建築分野では、CALS プロジェクト以来のデータ標準化の努力の結果、IFC 形式が提案され、三次元データの上に物性や価格などの様々な属性データを載せてワークフローに乗せる BIM(Building Information Model)の技術が普及しつつあった。

米グーグル社が無償公開した Sketch Up(2006)等のモデラーと、それを用いて三次元入力した建物等を Google Earth 全球地図の上にプロットして町並を構築するような WEB システムが提供され、データ形式として XML をベースとした KML、それを圧縮した KMZ 等が提案されたが、それにも関わらずさらに新しいデータ形式の開発・提案も続いた。

地理分野においては、ステレオ空中写真から作成した DEM (mem 形式)に加えて、航空機搭載型のレーザー・スキャナを利用した高精度の地形データが数値地図 (lem 形式)として供給され、さらにこれらを XML 形式に再編した基盤地図情報が国土地理院により開発・公開された。

各種の三次元データ形式を調査し、広く使われているデータ形式に関して、定義書（フォーマット解説資料）とサンプルデータの収集を行った結果を表 1-1 に示す。

このような歴史的過程の中で、コンバータなどを用いてデジタルデータを同時代的に共

有する技術は普及してきたが、様々な過去のレガシーデータ形式で記録されている建物の形状などの記録保存のための技術は不十分である。ある形式のデータの定義書・解説書が保存されていても多くの場合、そこに記載されている内容は多岐にわたる一方で、実際の

表 1-1-1 仕様書とサンプルデータを収集した三次元データ形式

拡張子	名称	開発者	開発年
IGS(IGE,IGES)	IGES (Initial 2D/3D Graphics Exchange Specifications)	National Bureau of Standards, USA	1980
OBJ	Wavefront Object	Wavefront Technologies, USA	1985
3D2 (3D, 3D4)	Stereo CAD-3D Object	Atari, USA	1985
OFF (COFF, NOFF, CNOFF, STCNOFF)	3D Object File Format	DEC (Digital Equipment Corporation), USA	1986
SAT (SAB)	ACIS Model	Spatial Corp, USA	1989
STL (STLB)	Stereo Lithography	3D Systems Inc., USA	1989
3DS (MLI)	3D Studio Scene	Autodesk, USA	1990
VTK(VTHB, VTR, VTI, VTS, VTU, PVTS, PVTU, PVTI)	Visualization Toolkit	KitWare Inc., USA	1993
LWO(LWS, LS, RIG, IFF, FPBM, LW2, LWOS)	Lightwave 3D Object	New Tek, USA	1994
FLT	Open Flight Scene	MultiGen Inc., USA	1994
PLY	Stanford polygon format	Stanford Graphics Lab, Stanford Univ., USA	1995
3DMF	3D Metafile	Apple, USA	1995
COB(SCN, SOB)	Caligari true Space	Caligari Corp., USA	1995
MGF	Materials and Geometry Format	Lawrence Berkeley Laboratory, USA	1995
C4D	Cinema 4D	MAXON Computer GmbH, Germany	1996
3DM	Rhinoceros 3D Model	Rhinoceros, USA	2000
DAE	COLLADA	Khronos Group Consortium	2004
SKP (KMZ)	Google Sketch Up	Google Inc., USA	2006

サンプルデータはその仕様の一部しか使用していない場合や、コメントの中に仕様外の意味のある情報を追記しているような場合も見られる。

近年の傾向として、XML をベースとしたデータ形式が増加した。XML 形式のデータの場合、既存の汎用ソフトウェアによってファイルを読み込みメモリ上のオブジェクトとして解析することによりプログラミングは容易となる。しかし、巨大なデータをすべて読み込むためには大容量のメモリを必要とすることや、一部破損したようなデータを解析することが困難になる点は注意を要する。

③長期保存を使命とする機関の調査

省エネ基準に適合した北方型住宅を登録する有償サービスを提供している北海道建築指導センター、統計データを保存している総務省統計局、CD-ROM 等を付録する書籍を保存している国会図書館、地質データを保管している産業技術総合研究所地質調査総合センターなどにおいて実際のデータの記録保存に使用されている記憶媒体に関する調査を行った。

④長期保存に資する先行技術（特許等）の調査

デジタルデータの長期保存のための記憶媒体・装置に関する先行技術、および記録形式に関して、特許庁の特許電子図書館および発明通信社の検索システム HYPAT-I において先行技術の調査を行った。

記録媒体・装置に関しては、検索条件を、

{ 3次元 or 三次元 or 3D } and
{ 情報 or データ or 図形 or 画像 } and
{ 記録媒体 or 記憶媒体 or 保存媒体 or 記録装置 or 記憶装置 or 保存装置 } and
{ 長期 } and
{ 建物 or 建築 or 住宅 or 家 or 景観 }

とした。また、記録形式に関しては、検索条件を、

{ 3次元 or 三次元 or 3D } and
{ 情報 or データ or 図形 or 画像 } and
{ 記録 or 記憶 or 保存 } and
{ 形式 or ビットストリーム } and
{ 長期 } and
{ 建物 or 建築 or 住宅 or 家 or 景観 }

とした。最後の { 建物 or 建築 or 住宅 or 家 or 景観 } という条件を外すといくつかの先行特許文献が検索されたため、具体的に明細書を取得して検討を行った。

その結果、本研究が課題とする、建物等を記録した三次元データの長期保存に適用可能な技術は、少なくとも国内特許文献の中には存在しないことが判明した。

これらの調査結果を含め、本研究に関する情報を交換するための WEB サイトを、まちづくり・コミュニケーション・システムを稼働している国総研のサーバー上にコーナーとして開設した(2011.2.1)。

<http://sim.nilim.go.jp/MCS/phi/phi.asp>

⑤ソフトウェア資産の整理と出版

1993 年以来、建設省土木研究所・建築研究所および国総研において、景観シミュレーションのために開発してきた各種プログラムと、データ処理のアルゴリズムを解説した国土技術政策総合研究所研究報告第 42 号「国土交通省版・景観シミュレーション・システム ver.2.09 のアーキテクチャ」を出版した(2011.3.14)。

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryu/rpn/rpn0042.htm>

このアーキテクチャにおいては、新たなデータ形式を用いたデータの inputs は、独立した実行形式として追加することができる。この方法は、パラメトリックな部品を実装する手段として開発された「外部関数」を拡張し、引数としてデータファイルを指定し、そのファイルを変換するコンバータを実行形式とすることにより実現している。

さらに、画面に表示されている建物やその構成要素を選択した上で、あるデータ形式で出力する機能も、プラグイン dll として追加できるようにした。

⑥特許出願

特に、三次元図形演算処理のアルゴリズムと、処理を具体化したプラグイン dll に関して、特許出願した。(「三次元図形演算プログラム、ダイナミックリンクライブラリ及び景観検討装置」、出願番号 2011-052466,2011.3.10、特許第 5039978 号, 2012.7.20)

この出願は、当該システムの「製品」としての利用を拡大普及することよりもむしろ、汎用性の高い技術を文書化・公開し広く共有することを主な目的とした。

三次元図形演算を行う処理は、更に改良（成功率と処理速度の向上）を行う余地があることから、既に公開している国土交通省版・景観シミュレーション・システムに機能を追加するダイナミックリンクライブラリ(dll.dll)として、システム全体を再ビルドすることなしに単独でデバッグし改良することができる。さらに地形編集等を目的とした別のプラグインから利用したり、景観シミュレーション以外の目的のためのアプリケーションから利用したりできる独立性の高い形で提供した。

(2) 平成 23(2011)年度

①コンパイラ処理系による解決

データ形式の標準化は、CALS プロジェクトとして 1990 年代から永く取り組まれているが、主な目的と成果は同時代的・共時的(synchronic)な情報交換とそれによる設計・生産の合理化にある。しかし、ある時代に広く普及したデータ形式も、技術革新に伴いやがて陳腐化し過去のものとなり、余り使われなくなる。このことは文書や表計算を始めあらゆるデータに関して生じる現象であるが、特に建物等を記録した三次元データに関しては、新たなデータ形式が絶え間なく提案され普及した結果、2010 年度の調査によれば、機械部品等も含めるとすでに 300 種類に及ぶデータ形式が存在することが判明した。即ち、過去に開発された様々なデータ形式に代わる新たな究極のデータ形式をグローバルな標準とし、以後その標準を永久不変のものとして使い続けるようにする目論見は常に失敗してきたと

いえる。

一方、建築物等を記録したデータを建物の維持管理、増改築や売買・賃貸借などの目的に活用しようとする場合、作成されてから数十年あるいは数百年の後であってもそのデータが可読でなければならない。一般には、データ作成時に使用されていたマシン（PC等）のハードやOSと、その上のアプリケーションは、そのままの形で長期にわたり使用し続けることは期待できない。多くのCADソフト等は、同時代あるいは近過去に広く使用されているデータ形式による入出力の機能を有しているが、すでに過去のものとなった形式によるデータは利用が困難になる。

様々なデータ形式で作成された記録を利用するためには、コンバータを作成することが一般的である。しかし、コンバータ実行形式（例えばWindows上のEXEファイルやDLLファイル）は、特定のOSの上で利用可能であり、前提となるハードとOSが変化・陳腐化していくために、コンバータの実行形式はいずれ使用できなくなる。但し、過去のマシンやOSをソフト的に再現してその上で過去のアプリを実行するための仮想化技術は開発されつつあり、例えば1990年代のワードプロセッサ専用機をソフト的に再現し、専用のフォーマットで保存されている文書ファイルを開いて編集することも、十分な技術史料が残されていれば可能である。

そこで本研究においては、すでに陳腐化したデータ形式（レガシー形式）により記録されている土木建築施設のデータの再生を可能とするために、記録に使用されたデータ形式の解読方法をプログラムとして記述したメタファイル（テキスト形式）を添付して保存しておき、利活用段階においてはまずこのメタファイルをコンパイルし、生成した実行形式を用いてデータを読み込み、表示等の処理を行う処理系を開発することとした。このような方法であれば、遠い過去に作成され長期保存されたデータであっても、添付されているメタファイルをコンパイルする部分が維持できれば、本体である記録データを開いて利用することができる。このような目的のためには、コンパイラ自体は、高速計算等のための高度な最適化を必要とせず、むしろシンプルで再現が容易なものが、将来の異なるマシンやOSへの可搬性の観点から適している。

長期保存の観点からは、このようなコンパイラが、必ずしも社会的に統一化・標準化される必要も、また広く普及する必要もない（望ましいことではあるが）。重要な点は、保存時に解読方法を記述するために作成され添付されたメタファイルの文法（即ちコンパイラの動作定義）が、長期間経過した利活用時点においても適用可能であれば十分であるという点である。このためには、このコンパイラの完全な仕様書（ソースコード）を保存データに添付する方法のほかに、本書のような形で記録化し、国立図書館等の資料の永久保存を使命とするような機関に保存しておき、添付されたメタファイルがその仕様（バージョン）に対応していることが特定できるようにしておく、という方法も有効である。

また、このような処理系は複数存在していても構わない。例えば、二つの処理系に基づく2種類のメタファイルが記録データ原本に添付され保存されていれば、データ本体が将

来再利用可能であることはより確かとなる。

本書で解説するコンパイラでは解読処理を記述することが困難な新たなデータ形式が将来開発され、それに適合する新たなメタファイルの文法体系とコンパイラが開発されたとしても、本書の時点でのメタファイルと保存データのペアの記録としての有効性が損なわれることはない。

本研究においては、処理系の一つの実現例として、まず PC 上の Windows アプリケーションとして「仮想コンバータ」と称する、コンバータに目的を特化したコンパイラ処理系を試作し、携帯端末等の他の OS への可搬性を検証する方法を試した。ここでいう「仮想」とは、いわゆる「仮想記憶」や「仮想マシン」などの概念と同様に、特定のハードや OS に束縛されない論理的なコンバータという意味であって、具現化・実装に当たっては必ずある特定の（様々な）ハードや OS を必要としている。

景観シミュレーション・システムが様々な形式のデータを利用するためのコンバータの内の 10 種は、外部関数として旧建設省建築研究所、国総研が C 言語で開発し Windows のための実行形式(.exe)の形で提供してきた(表 4-3-1)。仮にこれらコンバータのソースコードを直ちに実行するような処理系（コンパイラ）が実現できれば、原本データにコンバータのソースコードを添付したものを保存しておき、利活用時点で利用可能な OS の上で稼働するコンバータ実行形式をこのソースコードから生成して実行すれば事足りる。

このように目的を限定した C 言語は、標準 C 言語よりもシンプルなものであっても十分である。メタファイル（コンバータのソースコード）を将来実行するためには、将来のマシン上でコンパイラが再現可能であれば十分なのであり、インテル系プロセッサと Windows のために開発された従来のコンバータ実行形式の永続性を確保する必要はない。

データファイルに添付して保存する形式定義ファイル（メタファイル）が解読対象とする個別データは既に既知であるから、例えばメモリ管理においても不特定の長さのメモリブロックを取得・解放するような処理も不要であり、個別データの解読に十分な長さの配列を宣言できればよい。

さらに、これまでのコンバータ作成の経験に基づくならば、個々の三次元データは、記述に用いられた特定のデータ形式の仕様全体の内のごく一部の項目しか用いていない。従って、あるデータ形式を一つの言語に喩えるならば、個々のデータの解読方法の指示のためには、メタファイルにおいて、当該データの記述に使用されている文法や単語だけを含む辞書のサブセットを用意して添付すれば十分である。その言語によって書かれた全ての言説を理解するための膨大な辞書と文法解析を添付して保存する必要はない。

個別データの解読に十分な単語と文法だけを記述することができるような、あらゆる言語・言説に共通の方法（文法と辞書の記述方法）を不変のものとして用意しておけばよい。

言語仕様の開発方針：

- ・ある特定のデータ形式で記述されたあらゆるデータファイルを解読する手順のサブセットとして、保存対象である個別データの解読手順が定義できれば十分である。このため

には、**保存データの中で使用されている文法と辞書だけを記述できる**ことを目標とする。

- ・メタファイルを記述するためのルールが将来とも様々なマシン、OSの上で実行できる可搬性を担保するため、コンパイラ VC の公開ソースコード (C) として固定化する。
- ・コンパイラ VC が解釈するメタファイルの記述ルールを、C 言語を簡略化した (仮称) C--言語と名付け、ユーザはメタファイルをこのルールに従って作成する。
- ・C-- 言語は、サブルーチン処理を行う**関数**を定義することができるようにする。
- ・システムがデータ解読と形状構築に際して汎用性の高い処理を、メタファイル中で定義する必要がない、予め用意された**組込関数**として仕様と動作を定義する。
- ・組込関数の一部として、三次元形状を構築するための**ライブラリ関数**を提供する。
- ・ライブラリ関数は仕様のみ**テンプレート**として定義し、コールされた時の実際のマシン動作は将来、個別の**利活用処理系**の中で様々に定義することができるようにする。
- ・保存工程で作成され添付されるメタファイルは、あらゆる利活用処理系に共通とする。

②コンソールアプリの試作

このような処理系を最短で試作し実際のデータを用いてその有効性を検証するために、コンパイラの基幹部分に関しては、林(2010)により提供されているシンプルな C コンパイラを、出版社の許可を得て拡張することで実現した。この C コンパイラは、シンプルな命令から成る仮想マシン上の実行形式を生成する (3-2 参照)。ソースコードは、C 言語で記述されている。変数型としては整数のみを扱う。

本処理系を実現するための拡張として、三次元座標値を扱うことができるように、変数型として、浮動小数および四元数を追加し、これらの四則演算を行う処理を追加した。

C 言語においては、関数はプログラム (本処理系の場合には、メタファイル) の中で定義するが、この他にコンパイラ (ソースコード) の中で予め定義され、ユーザープログラムから定義なしに直接呼び出すことができる組み込み関数を用意することができる。そこで、三次元図形の定義に必要な処理を行うための組み込み関数を、「ライブラリ関数」として追加した。このライブラリ関数は、LSS-G 形式のコマンド群の殆どを含むものとし、引数としては定数だけではなく変数や式を用いることができるようにした。

一例として、最も基本的な座標値を定義するための COORD 関数について解説する。

LSS-G 形式のコマンド

```
P0=COORD(1.0,2.0,3.0);
```

の 1 行は、三次元座標 (1.0, 2.0, 3.0) を表すオブジェクト P0 を定義する。引数として記述する座標値は固定値 (浮動小数) である。以下、面の定義などには P0 というラベルを参照する。

一方、本処理系におけるコンパイラ (仮想コンバータ VC) においては、ライブラリ関数の、メタファイル中でのライブラリ関数呼び出しとしてこの行を解釈・実行するため、

```
P0=COORD(x, y+2.0, z*3);
```

という表現で、引数である座標値を変数や数式により定義することが可能である。

この1行が実行されると、引数の数式を計算した上で、3の数値がライブラリ関数 **COORD** に渡され実行される。**COORD** 関数は、何らかの処理を行った上で座標値に対応するユニークなID整数値を返し **P0** 変数に代入する。

COORD 関数が呼び出された時の処理内容は利活用目的に様々に定義できるが、例えば最も簡単な処理として、このコンソールアプリ **VC-1C** の処理系では **x** が 0.0、**y** が 1.0、**z** が 3.0 であれば、出力ファイルに

```
“P0=COORD(0.0, 3.0, 9.0);”
```

という文字列1行、すなわちメタファイルの行とほぼ同一の形式で数式が演算された結果を引数とするコマンド文字列を出力し、戻り値としてこの三次元座標値に固有の整数値を返す。この戻り値は整数型の変数 **P0** に代入される。

同様に **LSS-G** 形式のコマンドに対応する30のライブラリ関数を実装した。コンパイラ処理系に組み込み関数を追加した手順を3-2(2)に、また個々のライブラリ関数の利活用処理系に応じた処理内容を定義した方法を3-2(4)に、ライブラリ関数の一覧を表3-2に、関数毎の詳細を4-2で解説する。

この最もシンプルな処理系であるこのコンソールアプリ **VC-1C** は、具体的な動作として、**LSS-G** 形式の三次元データをメタファイルとしてコンパイルすることができ、実行段階では同じ図形を再定義する **LSS-G** 形式のファイルを出力するように動作する。この処理は、コンバータとしては実用的な意味を持たないが、変換元と同じ内容（形状・色彩等）のデータが生成していない場合、データ内部の詳細な比較を行うことなしに画面上で同じものが表示されることをビューワ（景観シミュレータ）で目視確認することができ、これにより、処理系の基本的な部分のテストとデバッグ（ライブラリ関数の動作確認と、メモリーリークの解消など）を、**LSS-G** 形式の様々なサンプルを用いて行うことができた（3-3で **VC-1C** を解説した）。

言い換えると、既存の **LSS-G** 形式のデータファイルは、これを特殊なメタファイルとしても読み込むことができ、指定されたデータファイルに関わりなく固定形状を記述したメタファイルとして利用することができる。

このコンソールアプリケーション **vc-1c.exe** は、3の引数を持ち、コンソール(Windows上の **cmd.exe**)から **vc-1c** とタイプすることにより起動することができる。この時3個の引数を指定する。第一引数はメタファイルの名称、第二引数は入力データファイルの名称、第三引数は出力データファイルの名称である。メタファイルが **LSS-G** 形式のファイルである場合、その中にはデータファイルを読み込むための **scanf** 等の関数は含まれておらず、第二引数で指定されたデータファイルは単なるダミーとしての意味しか持たない。

次に、データファイルの入力のための、**scanf**, **getc** 等の関数を実装し、**DXF** 等の各種形式のデータファイルを解釈し、**LSS-G** 形式のファイルとして出力する処理を、メタファイ

ル（プログラム）として作成しテストした。様々なデータ形式を読み込むためのメタファイルを作成するために、従来景観シミュレーションのためのファイルコンバータとして蓄積し公開してきた C 言語のソースコードから出発することにより、開発の手間を省力化することができる。

従来のコンバータのソースコードの出力部分とメタファイルにおけるコーディングを比較すると、入力対象のデータファイルから三次元座標値を読み込み、*x,y,z* という浮動小数の 3 値を取得し、固有の *id* を生成する処理を行った後に、

```
fprintf(wp,"P%d=COORD(%f,%f,%f);%n",id,x,y,z);
```

という 1 行で出力ファイルに 1 行を追記していたステップは、

```
P0=COORD(x,y,z);
```

というステップに置き換えて記述できることとなる。

また、同じこの実行形式を Windows 上で動作するコンソールアプリ *vc-1c.exe* として景観シミュレータの外部関数に追加登録すると、従来

```
G0=FILE(dxflss, sampledata.dxf); (コマンド A)
```

というステップで、*sampledata* という *dxf* 形式のファイルを入力し *G0* という名称のオブジェクトとして定義していた処理は、

```
G0=FILE(vc-1c, dxf.cmm, sampledata.dxf); (コマンド B)
```

という行に置き換えることができる。

従来のコマンド A の処理において、*G0=FILE(dxflss, sampledata.dxf);* というコマンドが実行されると、*dxflss.exe* が起動して、*sampledata.dxf* というデータファイルを解釈し、*LSS-G* 形式のファイルに変換して *G0* という名称のオブジェクトを生成する。

これに対してコマンド B が実行されると、*vc-1c.exe* が起動して、まず第二引数の *dxflss.cmm* というメタファイルをコンパイラ VC のためのソースコードとしてコンパイルし、*DXF* 形式専用のコンバータの実行形式を生成する。次のステップでこの実行形式を実行し、第三引数として指定された *sampledata.dxf* の解読処理を行い、その処理の結果生成されるファイルを読み込まれて *G0* という名称のオブジェクトを生成する。

vc-1c.exe は Windows 上で実行するコンソールアプリであるが、第二引数のコンバータの入力処理を記述したメタファイルは *dxflss.cmm* は編集可能なテキストファイルであり、Windows 以外の処理系においても利用可能となる。異なる OS への移植は、*vc-1c.exe* だけ移植すればよく、様々なデータ形式の入力用コンバータは、第二引数となる入力処理を定義したメタファイルはマシンや OS に依存することのない可搬性が得られた。この処理系については、3-3 で解説する。

③プラグイン DLL の試作

上記の *COORD* 関数等の各ライブラリ関数の関数型（引数と戻り値）を保ったまま処理内容を変えることにより、*LSS-G* 形式の文字列をファイルに出力する処理系 *VC-1C* を代替する、メモリ上にデータを構築し直接表示する処理系を実現することができる。そこで、

ライブラリ関数が画面表示可能なメモリ上の表示データを生成する処理系を景観シミュレータのプラグイン DLL として作成し動作を確認した (vc-2v.dll)。Windows を OS として動作するこの処理系においては、メタファイルとデータファイルを指定して実行すると、実行形式がデータファイルを解読した処理結果は、外部ファイルを介することなくメモリ上に高速で直接構築され、様々な視点から眺めたり、偏光メガネを用いて立体視したりできる。この処理系については、3-4 で解説する。

④携帯端末で動作する AR アプリの試作

異なる (未来の) 処理系への可搬性を検証するために、③と同じ処理を Android 系タブレットの上で実行し、GPS 座標と姿勢センサを用いて、建物などの実際の場所 (緯度経度で指定) にリアルタイムで写真合成し表示するシステム VC-3M を試作し、釜石において動作テストした。残念ながら、この段階で、各種センサの反応速度と計測精度がまだ実用に供するには不十分であったが、原理的には動作することを確認した。この処理系については、3-5 で解説する。現場投入は機器の性能向上を待って 2014 年となった。

⑤災害関連の GIS データの編集に関するプログラム作成

平成 23(2011)年 3 月 11 日に東日本大震災が発生し、復旧・復興を支援するために国土地理院により大量の高精度 GIS データが、レーザー・スキャナ技術等を用いて作成された。これにより精度の高い地形データが無償で利用できる環境が整った。そこで、データの長期保存を目的とした①~③の研究開発と平行して、これらのデータを有効活用するために、数値地図などの読み込み、変換、分割や接続、座標系に関する処理、及び高台整地等の立体的図形演算処理を行う、景観シミュレータのためのプラグイン (flow.dll) を作成し、WEB 公開した (<http://sim.nilim.go.jp/MCS/flow/flow1.asp>)。

地形データの上に整地エリア (二次元的領域) と標高を指定し、地形との間に切土盛土の法面を指定勾配で生成して、閉じた図形として整地後の地形を生成するための、高台整地の図形演算のアルゴリズムを明細書に記述し特許を出願し、翌年登録された (高台整地プログラム、ダイナミックリンクライブラリ及び景観検討装置、出願番号 2012-134951, 2012.6.14、特許第 5320576 号,2013.7.26)。

(3) 平成 24(2012)年度

①WEB サーバー上の三次元データ保管庫の開発

過去に作成された各種形式による記録データを、添付されたメタファイルに基づいて解析しデータベースに蓄積する WEB アプリケーションを開発した(VC-4D)。この処理系では、前記と同じ COORD 関数が実行されると、ライブラリ関数は SQL コマンドを発行し、三次元座標を格納するテーブルに三次元座標値を追加する。同様に面や立体などを定義する全てのライブラリ関数を SQL テーブルに展開する処理が終了した段階で、データファイルが記述している建物等が、データベース上に幾何学的要素に展開される。

この要素に展開されたデータを入力された記録データとは異なる様々なファイル形式の外部データに再構築・変換して出力するために、データベースから図形や座標値を系統的

に取り出す出力系ライブラリ関数を増補した。これを用いて、データベースに記録された建物等の形状を元のファイルとは異なる任意形式のファイルとして出力する処理をプログラミングし、出力用メタファイル（プログラム）を試作した（三次元データ保管庫）。この利活用範囲を拡張する処理系については、3-6で解説する。

これまでに作成した4種類の処理系において、データファイルの解読方法を記述したメタファイルは同じものが使用できることを比較検証した。即ち、同一のデータファイルとメタファイルを使用しつつ、読み込んだ後の利活用方法（ファイル出力、画面表示、データベース処理・・・）は、ライブラリ関数の実装方法によって変更ができる。

原データにメタファイルを添付して寿命の長い媒体に記録する「保存工程」においては、将来（数百年後）の利活用方法については未知数である。しかしながら、4種類の実装例に共通する基幹部分（コンパイラの仕様）と、利活用目的に応じて異なる動作を実装するライブラリ関数について実例を通して解説することにより、将来の利活用工程において、新たに必要となる処理系を実現するためのライブラリ関数のプログラミングに資する十分な具体的資料を提供することになると考える。

②奥尻島の災害復興に関するアーカイブスの作成

北海道南西沖地震(1993年の被災調査の際に建設省建築研究所等が撮影し国総研に保管されてきた計測写真等を再整理すると共に、北方建築総合研究所（北総研）、北海道大学、奥尻町と連携して被災前の古写真の収集に努め、古写真の撮影位置・時期を特定した。写真から個々の住宅のテクスチャ付き三次元モデルを復原し、これを配列することにより、三次元アーカイブスとし、復興20周年となるこの年にWEB公開した。

<http://sim.nilim.go.jp/Okushiri>

この段階での三次元データ形式と配信方法は、2001年度に国総研で開発したまちづくり・コミュニケーション・システムと同様であるが、三次元データが将来計画案ではなく過去の復原である点が異なっている。

2011～12年度に開発した4種類の処理系の構成と開発方法に関しては、「3.システム開発者の手引き」で詳しく解説する。

1-2. 地域居住空間の三次元アーカイブスの利活用

平成25～26(2013～14)年度の2年間をかけて、上記3年間の研究開発における基礎的な技術の成果を活用して、具体的なサンプル地域に関する三次元アーカイブスをWEBサイト上に作成すると共に、将来における利活用のイメージを具体化するために、例示することのできるアーカイブスを増補すると共に、タブレット端末を用いた処理系を性能向上して、実用的なレベルに高めた上で、現場デモ等に投入することを目指した。

(1)平成25(2013)年度

①筑波移転に関するアーカイブスの作成

筑波移転に関する閣議了解から50周年、また上記の奥尻島における南西沖地震と復興か

ら 20 周年などを契機として、これらの地域に関する過去の記録に関する社会的な関心が高まったことを受け、国総研に保管されている資料の重点的な整理を行った。具体的には、ステレオ計測写真（ネガ）として保管されている資料のスキャン作業、現況図や計画図として保管されている紙図面のスキャン作業と、これらからの三次元データの復原作業を行った。

これらの成果（三次元データによる過去の記録）を、まちづくり・コミュニケーション・システム（三次元データによる未来の予測を目的として、2001 年度に開発）と同じ方法で、過去を記録する WEB サイトにとりまとめ、一般からアクセスできる状態とした。

東日本大震災被災地に関しては、瓦礫の中から古写真等が精力的に回収・保存され、スキャンされていた。また、国立国会図書館においては、アーカイブスのための「ひなぎく」サイトが開設され、情報の整理保存活動が行われていた。三次元データとして集約する方法は、これらの次の段階として有効な処理方法であると考えられたため、国土地理院の所蔵する過去の測量成果等も加えつつ、奥尻島、筑波地区等に関して三次元的な復原を検索用メディアとして、ここから復原の根拠となった各種資料にアクセスできるような形で整理を進めた。平成 26(2014)年 3 月 12 日には、記念シンポジウムを建築研究所展示館において行った（4-6）。

②記録媒体の試作

レーザー加工機、3D プリンタなど、データを寿命の長い素材の上に直接加工する技術や装置が急速に普及し始めていた。そこで、伝統的な棟札や定礎などのように建築物に付帯して設置保存される記録媒体を目的として、より高密・長寿命の素材に記録する方法を試した。データファイルとメタファイルを、レーザー加工機を駆動することができるデータ形式に変換して出力するための Windows 上のアプリケーションを試作した。この分野においては、現在加工方法や記録密度に関して新たな技術が出現しつつあるため、本書では概要に留める。

③発表と特許出願

研究成果（技術）の記録と普及を図るために、各種学会での発表を積極的に行った（章末文献①～⑨）。更に、代表的な技術に関して特許明細書の形で資料化し、2 件の PCT 国際特許出願を行った。

[1]「データファイルを長期保存するためのファイル処理方法、ファイル処理装置及び保存媒体（PCT/JP2013/006737, 2013.7.3、特許第 5768280 号, 2015.7.3）」

[2]「情報処理装置、情報処理方法及びプログラム（PCT/JP2013/006737, 2013.11.15、特許第 5817012 号, 2015.10.9）」

PCT 出願とした理由の一つは、国内移行手続きのための参考資料として、特許庁から国際サーチレポートが返されることから、平成 22(2010)年度に行った国内先行技術調査で検索にかからなかった先行技術が見いだされる可能性がある点である。実際に、記録データの長期保存・利活用を目的とするいくつかの先行技術が報告されたが、住宅等の建物の三

次元データの記録保存という技術の使用分野や、コンパイラ処理系を使用する本研究成果の技術の内容において異なることが判明した。

(2) 平成 26(2014)年度

①奥尻島における体験教室

携帯端末の各種センサの性能が向上したため、これまでに作成したデータと、携帯端末を用いた現場での閲覧システム（VC-3M）を用いて、かつて町並が存在していた実際の現場での体験教室を実施した（奥尻島岬公園および浜風公園、平成 26(2014)年 10 月 8 日）。このために、レンタルにより調達した最新の携帯端末 3 機種を用いて動作確認と性能比較を行い、必要な改良・修正を加えて、同じアプリ、メタファイル、データを用いた場合における異機種間の互換性・再現性を改善した上で、現地体験教室を開催した（「むかしめがねアプリ」、2-1、2-2 参照）。更に、OS として Android を使用する携帯端末への閲覧システムと表示用データのセットアップを行うための圧縮ファイル（zip）形式を作成し、三次元アーカイブスの WEB サイトに追加する形で公開した。このロードモジュールの作成方法を 2-5 で解説する。

②図面資料からのデータ作成

筑波移転前の研究機関の跡地（東京およびその周辺）に関する資料を収集・分析すると共に、旧建設省建築研究所が存在していた新宿区百人町 3 丁目に関して詳細に変遷を追跡した。特に、従来あまり重視されてこなかった建物や施設の写真資料や図面を整理した。その中で新たに発見された、従来の機関史等で言及されていない 1980 年代に除却された建物の記録図面の中から、主要な 16 棟の実測図を資料とした、三次元データ作成業務を、一般競争入札で実施した。この業務の特徴は、データ作成に使用するソフトウェア（CAD 等）と、納品するデータ形式を指定せず随意とする代わりに、メタファイルを作成するために十分な内容を有する、データ形式に関する解説資料を成果に添付する、という特記仕様（4-6 参照）としたことである。

2014 年 9 月 3 日に、上記の移転前の空間構成の記録に基づく復原をテーマとして、第 2 回研究会を開催した（建築研究所展示館）。なお、この研究会はその後 2019 年 10 月 30 日の第 5 回まで継続し、その成果は 4-6 に反映されている。

奥尻島、筑波地域の例に加えて、移転跡地に関するアーカイブスを増補すると共に、データ作成から利活用に至る作業手順等に関する解説と資料を本書の中に収録した（4-6）。

この 5 年間の一連の研究は建設省建築研究所、土木研究所、国総研において平成 5(1993)年度以来行われてきた景観シミュレーション・システムに関連する研究の技術的延長上に行われたものであり、データ作成・編集や、テストデータの検査、試作プログラムのテストにおける道具として過去に開発したプログラムを活用した。しかし、目指した方向は、上記システムの拡充・発展ではなく、主に Windows アプリケーションとして 20 年間使用された上記システムに固有の束縛条件からの解放であり、各種三次元データの地域の居住空間の記録としての長期保存に向けた利活用技術の普遍化である。

1-3. 成果

(1) 論文

- ①小林英之、稲垣森太「奥尻島集落における古写真の位置比定と編年についてー1993年以前の青苗集落を中心として」日本建築学会北海道支部研究報告集(pp.405-412)、2013.6
- ② Hideyuki KOBAYASHI: "3D Archiving Houses and Settlements -Alternative Technologies to support Lasting Diachronic Memory-", International Symposium on City Planning, 2013.8, Sendai
- ③小林英之「奥尻島における古写真を用いた1993年被災集落の立体的復原について」日本建築学会大会学術講演梗概集(pp.457-8)2013.8
- ④小林英之「高台整地の景観シミュレーションープラグインの開発ー」土木学会全国大会IV-048(2013.9)
- ⑤岡田成幸、中島唯貴、大柳佳紀、小林英之ほか「奥尻島災害復興過程における生活環境の変容に関する研究」北海道地域自然災害資料センター紀要(2014.3)
- ⑥南慎一、小林英之、稲垣森太、大柳佳紀「奥尻島の記憶の町並再生プロジェクト報告」北海道地域自然災害資料センター紀要(2015.3)
- ⑦小林英之「新宿百人町の除却された建物群のデータ復原ー三次元アーカイブスの永久保存に向けてー」日本建築学会大会学術講演梗概集(歴史意匠 No.9435, 2015.9)
- ⑧小林英之「建築物などを記録し長期保存されたレガシーデータの利活用方法ーメタファイル・コンパイラと利活用ライブラリによる処理系ー」日本建築学会大会学術講演梗概集(情報システム技術 No.11032 ,pp.71-72, 2016. 8)
- ⑨ Hideyuki KOBAYASHI: "Use of 3D Archives of Houses and Settlements for Permanent Memory -2 cases of 3D data attached with metafile for preservation of records with 4 trial cases of application toward future usage-", 11th International Symposium on Architectural Interchange in Asia (ISAIA, September 2016, Sendai, C-5-4, 5p)

(2) 特許

本研究の成果として出願および取得した特許は、以下の通りである。

- ①特許第 5039978 号「三次元図形演算プログラム、ダイナミックリンクライブラリ及び景観検討装置」平成 23 年 3 月 10 日出願(特願 2011-052466)、平成 24 年 7 月 20 日登録
- ②特許第 5320576 号「高台整地プログラム、ダイナミックリンクライブラリ及び景観検討装置」平成 24 年 6 月 14 日出願(2012-134951)、平成 25 年 7 月 26 日登録
- ③出願 PCT/JP2013/004121「データファイルを長期保存するためのファイル処理方法、ファイル処理装置及び保存媒体」平成 25 年 7 月 3 日出願
- ③ー1 (日本国内) 特許第 5768280 号「データファイルを長期保存するためのファイル処理方法及び保存媒体」平成 25 年 7 月 3 日出願(特願 2013-5029309)、平成 27 年 7 月 3 日登録

③-2 (日本国内、分割出願) 特許第 6064266 号「データファイルを長期保存するためのファイル処理方法、及びファイル処理装置」平成 27 年 6 月 5 日出願(特願 2015-011343)、平成 29 年 1 月 6 日登録

③-3 (インドネシア国内出願) 「Tata Cara, Sarana dan Pembawa untuk Melestarikan Arsip Data selama Jangka Panjang」2016 年 1 月 21 日出願、22 日受理(P00201600426)

④出願 PCT/JP2013/006737 「情報処理装置、情報処理方法及びプログラム」平成 25 年 11 月 15 日出願

④-1 (日本国内) 特許第 5817012 号「情報処理装置、情報処理方法及びプログラム」平成 25 年 11 月 15 日出願(特願 2014-506384)、平成 27 年 10 月 9 日登録

④-2 (日本国内、分割出願) 特許第 6064269 号「情報処理装置、情報処理方法及びプログラム」平成 25 年 9 月 8 日出願(特願 2015-189158)、平成 29 年 1 月 6 日登録

①は、三次元図形演算を行う機能を提供するダイナミックリンクライブラリに関するものである。1996 年にダウンロードサービスを開始した景観シミュレータ 2.05 で、道路法面生成機能、1999 年の 2.07 において試作したトンネル機能等で使用していたブーリアンの機能を拡張し、表面が穴あきポリゴンから構成された多面体の図形演算を精密な交線の計算とトポロジーの分析により実行するものである。DLL とすることにより、独自にデバッグすることができ、また、他のアプリケーションにおいても、ライセンスを国総研から取得することにより、図形演算機能を使用することができるようになる。2011 年にリリースした景観シミュレータ 2.09 においては、プラグイン DLL で追加した「園路生成機能」の中でこの機能を使用している。

②は、三次元ソリッド図形として表現された地形の上に任意のエリアと標高を指定し、平坦地を生成するものである。指定したエリアの周辺に、指定勾配の法面のテンプレートを作成し、これと地形との間に、①の三次元図形演算を適用することにより、住宅団地や集落を形成するための平坦地を生成することができる。

東日本大震災に際して、国土地理院によりレーザー・スキャナによる精密な測量が行われ、地形データが利用可能となったことから、これを活用して高台移転等の計画に利用可能な機能を提供した。

③は、この報告に解説している内容に深く関係している。住宅や社会資本を記録する三次元データには様々なフォーマットがあり、それらを開いて活用するためのアプリケーションや、その実行環境(OS)の急速な陳腐化が進むことから、貴重な記録を含むレガシーデータが利用困難となりつつある。このような状況に対処して、データファイル本体を解読するために十分な情報を含むメタファイルを添付して、長期保存媒体に記録保存すると共に、そのメタファイルを記述するための文法と辞書(コンパイラの仕様)を別途、永久保存しておく、という方法を実現した。

④は③のような形で保存されたデータを利活用する一つの形態として、記録された建物等が存在していた場所の現況を背景画像として、GPS 機能を備えた携帯端末を用いて、記

録された建物のパースを作成し、リアルタイムで写真合成を行う技術に関するものである。

(3) WEB 公開

- ①三次元住宅情報の永久保存技術に関する基礎的研究

<http://sim.nilim.go.jp/MCS/phi/phi.asp>

- ②地域居住空間の三次元アーカイブス

<http://sim.nilim.go.jp/>地域名

の web アドレスに、地域別に構築している。また、これらのコンテンツのサーバー間移植、OS の更新などについて、4-9 で解説した。

(4)

雑誌紹介記事など

- ①小林英之「地域の三次元アーカイブスの利活用ー災害や大規模開発を超えて持続する地域の生活空間を可視化するー」国総研レポート 2014, p.116
- ②小林英之「デジタル考古学事始め 第1部：近過去を振り返る」建築の研究, No.209, 2012.2, pp.1-6m, 建築研究振興協会
- ③小林英之「デジタル考古学事始め 第2部：未来の考古学者へ」建築の研究, No.210, 2012.4, pp.25-30, 建築研究振興協会
- ④小林英之「デジタル考古学事始め 第3部：道具編」建築の研究, No.211, 2012.7, pp.30-33, 建築研究振興協会