

# 柔軟な時間管理概念を導入した4次元GIS による大規模地下開発支援システムの構築

室蘭工業大学 情報工学科  
教授 板倉 賢一

平成20年9月

## 助成研究者紹介

いたくら けんいち  
板倉 賢一

現職: 室蘭工業大学工学部教授(工学博士)

主な著書・論文:

- ・残壁ハンドブック(資源・素材学会 平成 17 年)
- ・室蘭工業大学はこんな授業で勝負する(室蘭工業大学 平成 14 年)
- ・オムニバス技術者倫理(共立出版 平成 19 年)
- ・A Modeling Method on Fractal Distribution of Cracks in Rocks using AE Monitoring (J. of Acoustic Emission, 23, 2005, pp.119-128)
- ・トンネル観測化施工の新しいパラダイムを目指して(土と基礎, 52, 6, 2004, pp.19-21)
- ・さく孔機の機械量データによる天盤構造可視化システムの開発(資源・素材学会誌, 115, 13, 1999, pp.1033-1039)

まつい ひろや  
松井 裕哉

現職: 日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門

瑞浪超深地層研究ユニット 結晶質岩工学技術開発グループ

主な著書・論文:

- ・In-situ Experiments on Excavation Disturbance in JNC's Geoscientific Research Programe, Proc. of a European Commission Cluster Conference and Workshop of Impact of the excavation disturbed and damaged zone (EDZ) on the performance of radioactive waste geological repositories, pp.323-329, 2003
- ・Comparison of the results of stress measurements determined by various methods at the Kamaishi mine, Proc. of International symposium on rock stress, pp.95-100, 1997
- ・MIU-3 号孔における力学特性調査結果及び正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル, サイクル機構報告書 JNC-TN7420 2001-001, 2001

やまち ひろし  
山地 宏志

現職: 三井住友建設株式会社 技術研究開発本部(工学博士、技術士(建設部門))

主な著書・論文:

- ・山岳トンネルにおけるロックボルト 技術資料(ジェオフロンテ研究会 平成 18 年)
- ・コンクリートライブラリー121 吹付けコンクリート指針(案)【トンネル編】(土木学会 平成 18 年)
- ・現場技術者のための吹付けコンクリート・ロックボルト(トンネル技術協会 平成 17 年)
- ・矩形大断面切羽の崩壊機構と引張部材としての鏡ボルトに関する考察(土木学会論文集C、Vol.63、No. 2、2007、 pp.344-357)

## Contents

1. はじめに	
1.1 本報告書の目的と構成	I - 1
1.2 瑞浪超深地層研究所計画の概要	I - 2
2. Web3D と RDBM を援用した大規模地下開発支援システムの概要	
2.1 概説	II - 1
2.2 地下空間支援システムのフレームワーク設計	II - 2
2.2.1 システムの要求性能とその基本構成	II - 2
2.2.2 システムの基本構造	II - 4
2.3 時間フレームワークとデータベース構造	II - 7
2.3.1 時間フレームワークと時間情報の表現	II - 7
2.3.2 データモデルの定義と SQL によるデータモデルの記述	II - 9
2.3.3 検索演算	II - 10
2.4 RDBMSを援用した仮想現実空間の構造	II - 11
3. 柔軟な時間概念導入のための時間・空間領域の再定義	
3.1 概説	III - 1
3.2 ファジィ集合の概念と演算	III - 3
3.2.1 ファジィ理論とその応用	III - 3
3.2.2 ファジィ集合とファジィ演算	III - 4
3.2.3 ファジィ推論	III - 9
3.2.4 ファジィ測度とファジィ積分	III - 13
3.3 ファジィ機能のデータベース検索機能への接合	III - 17
3.3.1 データベース管理システム上のファジィ演算機能の構造	III - 17
3.3.2 時間領域のファジィ集合化	III - 22
3.4 まとめ	III - 24
3. 静的データの処理・可視化機構(形状測定データを例として)	
4.1 概説	
4.2 3次元レーザースキャナーデータ処理機構の要求性能と機能	IV - 2
4.3 3次元レーザースキャナーデータの変換・可視化機構の構造設計	IV - 5
4.3.1 解析・可視化システムのフレームワーク	IV - 5

4.3.2	3次元レーザースキャナーデータの変換/登録機能	IV-7
4.3.3	データ解析/可視化処理機能の基本構造	IV-10
4.4	XMLによるファイルシステム化の実際	IV-11
4.4.1	データ変換管理ファイル{DataList.xml}とデータ変換・登録処理	IV-13
4.4.2	プロジェクト管理ファイルとステップ管理ファイルの構造	IV-16
4.4.3	形状測定データ検索・深度方向合成処理の機構	IV-24
4.5	データ変換の実際	IV-26
4.5.1	3次元レーザースキャナーデータ変換作業の流れ	IV-26
4.5.2	測定深度方向合成	IV-36
4.5.4	画像処理のためのデータの間引きとデータ登録・保存	IV-37
4.6	壁面形状データの可視化とその操作	IV-40
4.6.1	初期操作画面と各ウィンドウの概要	IV-40
4.6.1	[Step tree Bar]タブの機能と操作	IV-42
4.6.2	[Preview]タブの機能と操作方法	IV-45
4.6.3	[Navigator]タブの機能と操作	IV-46
4.6.4	[2D View]の機能と操作	IV-51
4.7	まとめ	IV-54
5.	おわりに	V-1

## 1. 概説

### 1.1 本報告書の目的と構成

申請者らは、平成 19 年度に大規模地下空間開発の場で発生する膨大なデータを円滑に処理し、これを設計、施工、ならびに施設運営へとフィードバックすることを目的として、時間軸を考慮した4次元仮想地下空間の構築し、これをRDBMと連携させることで、直感的な操作が可能な大規模データ管理システムの設計とその開発を実施した<sup>1)</sup>。

しかしながら、当該データ管理システムでは、固定的な時間概念を採用したため、刻々と変化するデータに対しては膨大な記憶容量を要するだけでなく、その検索・処理に多大な時間が要することが明らかとなった。このため、中・小規模の地下開発プロジェクトには実用的なデータ処理を行っても、本来の目的である大規模地下開発プロジェクト支援には適さない面がものとなった。

本年度は、柔軟かつアクセスの容易な時間管理概念することでこれを改良し、システムの実用化とその展開を図るものである。すなわち、当該システム上において、時間データへの円滑なアクセスを可能とすることを考え、柔軟な時間概念を導入するとともに、これに適した時間・空間概念の再設計を行うことで、これを解決することを試みた。

これまで、データベースにおいては各種の時間管理概念が導入されたがそれらのほとんどはDigitな時間管理概念であったために、人間のあいまいな時間記憶と親和性が低く、必ずしも実用性の面で成功したとは言いがたい<sup>2),3)</sup>。本研究で提案する柔軟な時間管理概念とは、あいまいな時間記憶をシステムソフト論的なアプローチによりデジタル時間データへと変換することで、このギャップを解消し、検索、ならびにデータ処理を実行しようとするものである。ここでは、そのアプローチとしてファジィ理論を適用した。

また、平成 18 年度報告書の段階では当該システム上へのデータ実装がほとんど行えていなかったため、設計したシステム構造の実証性に関して明確な評価が行えなかった。本年度業務においては、その実装を実施するとともに、その実用性についても検証した。

本報告書では、2章において、平成 19 年度助成研究で構築した大規模地下開発支援システムの構造と機能を総括するとともに、柔軟な時間概念導入の必要性和、データ実装と個別機能拡充の必要性について示す。ついで、3章では、ファジィ理論の特性を整理するとともに、その集合論、基本演算、ファジィ推論、ならびにファジィ積分の理論とその応用について整理する。これをもとに、ファジィ演算機能を、大規模地下開発支援システムで採用したDBMSに組みこむ方法論と、これを作動させる構造についての設計を実施する。さらに、当該システムの時間概念をファジィ化するための時間領域の再定義を実施する。

4章においては、レーザースキャナーによる空洞形状測定データを用い、超大規模データの検索・処理機能を検証するとともに、解析・分析機能の整備拡充を実施し、その実用性を示す。なお、本報告書で仕様する各種データは、日本原子力研究開発機構が実施する瑞浪超深地層研究所構築工事の過程で得られたデータである。その概要を次節に示す。

## 1.2 瑞浪超深地層研究所計画の概要<sup>4),5),6)</sup>

本研究がモデルプロジェクトとする瑞浪超深地層研究所は、日本原子力研究開発機構が実施する結晶質岩を対象とした深地層の科学的研究の一環として建設されるものである。超深地層研究所計画は、超深地層研究所を構築することのみを目的とするのではなく、地下深部までの結晶質岩を対象として地質環境を体系的に調査・解析・評価することのできる技術基盤、ならびに工学技術基盤の整備を目的としている。

したがって、当該建設工事では調査・建設過程も研究的な側面を有し、これらの過程で収集・蓄積される情報量とその種類は、一般的な建設プロジェクトに比して膨大なものとなる。この研究過程は図-1.1 に示すように大きく地表からの3つの段階ステージに分類され、第1段階では超深地層研究所建設のための基礎調査を含む地表からの調査予測研究が、また第2段階では研究所掘削工事に伴う地山挙動調査を主とした研究が行われ、最終の第3段階では深度 500m と 1,000m に建設される中間・最深ステージや研究坑道を利用した各種研究が実施される予定である。

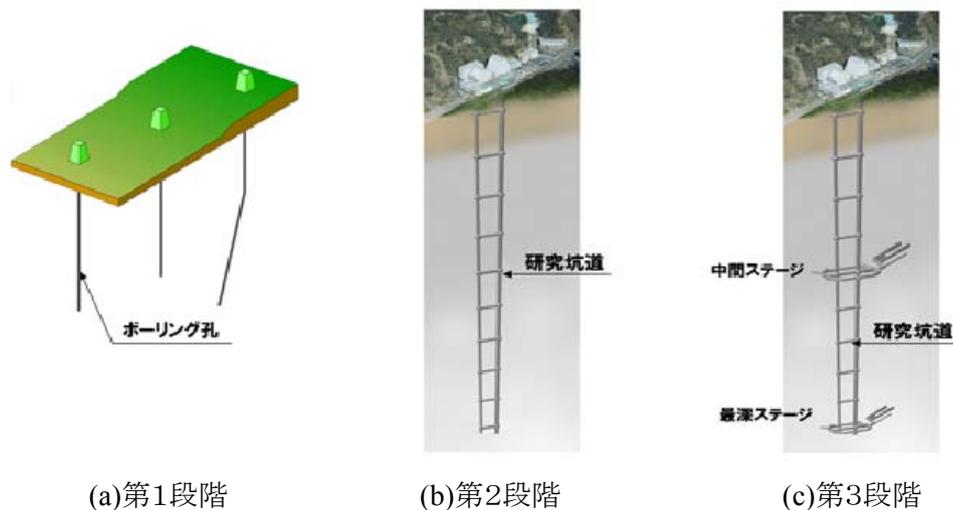


図-1.1 瑞浪超深地層研究所における研究段階<sup>5),6)</sup>

研究地点は、岐阜県瑞浪市内の東濃研究学園都市インターガーデン内の市有地と、これに隣接する正馬様用地と呼ばれる日本原子力研究開発機構の所有地にまたがるが、瑞浪超深地層研究所は東濃研究学園都市インターガーデン内に建設される。現在、当該研究プロジェクトは地層研究所建設段階(第2段階)にあり、平成19年8月6日時点で主立坑、換気立坑とも深度 200.2m まで掘削が進展し、これに付随して各種調査・計測が継続して実施されている。本研究では、平成19年8月6日までに収集・蓄積された各種データを利用して、システム設計とデータの実装を実施する。

システムで構築する仮想現実世界は、この瑞浪超深地層研究所の地上施設群と地下空洞群を主たるモデルとする。また、併せて第1段階で掘削された深層ボーリングもその対象とする。

地上施設群は図-1.2 に示すように、工事用施設群と管理棟からなるが、これらの施設群は基本的に地学データの発生源とはならないため、その外形状のみをモデル化するものとした。



図-1.2 瑞浪超深地層研究所の地上施設群<sup>6)</sup>

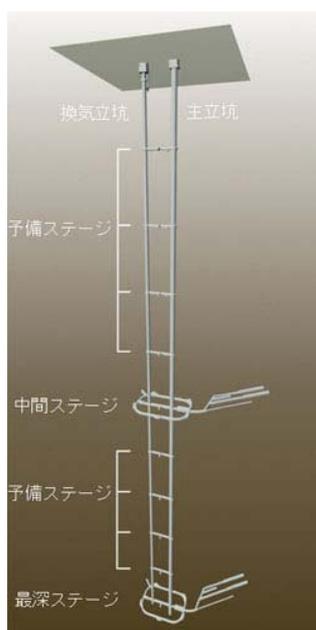


図-1.3 瑞浪超深地層研究所で計画される空洞群のレイアウト<sup>6)</sup>

表-1.2 瑞浪超深地層研究所で計画される空洞群の諸元<sup>4),5)</sup>

Items	Remarks
予定最大深度	1,025m
立坑内径	主立坑6.5m、換気立坑4.5m
坑道設置間隔	40m
坑道本数	2本(主立坑、換気立坑)
立坑形状	円形
中間ステージ	深度 500m
予備ステージ	深度 100mごと
最深ステージ	深度1000m

また、計画される地下空洞群の諸元とレイアウトは表-1.2、図-1.3 に示すものである。これらの地下空洞群と調査ボーリング群は地質環境データの主たる発生源であるため可能な限り設計図書に基づいてモデル化するとともに、その掘削形状データや切羽・壁面状況等もモデル化に反映させることを考える。

本報告書では、これらの施設群をその機能や用途によって分類し、これらのCGモデルを形状データとしてデータベース上に蓄積し、これをRDBMSを介してWeb3Dに呼び出し、仮想現実空間を構築することのできるRDBMSの構造を設計するとともに、各施設から発生する各種地学データをこれらのCGモデルと関連させることで、RDBMSを操作する機能を設計・実装するものである。なお、RDBMSの設計に当たっては、地下構造物で発生するデータの時間依存性を考慮して、時間軸をも内包した4次元仮想空間を対象としてその設計を実施する。

## 参考文献

- 1) 板倉賢一、佐藤稔紀、山地宏志: Web3D と RDBM を援用した大規模地下開発支援システムの開発報告書、平成 18 年度(財)日本建設情報総合センター研究助成報告書、2007.
- 2) Michael Stonebraker, Joseph M. Hellerstein: What Goes Around Comes Around, Readings in Database Systems, 4th Edition, The MIT Press, 2005.
- 3) M. Yuan: Temporal GIS and Spatio-Temporal Modeling, Proceedings of the 3rd International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, 1996.
- 4) 今津雅紀、佐藤稔紀、坂巻昌工: 地下 1,000m の立坑工事に着手-瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事-, トンネルと地下、Vol.35、No.6、pp. 31-42、2004.
- 5) 核燃料サイクル開発機構: 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築-平成 17 年取りまとめ-分冊 1 深地層の科学的研究, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN1400 2005-014, 2005.
- 6) <http://www.jaea.go.jp/04/tono/miu/mium.html>

## 2. Web3D と RDBM を援用した大規模地下開発支援システムの概要

### 2.1 概説

本章では、「Web3DとRDBMを援用した大規模地下開発支援システムの開発報告書(平成18年度(財)日本建設情報総合センター研究助成報告書、2007)」<sup>1)</sup>をもとに、本研究の基礎となる大規模地下開発支援システムのフレームワークとデータ構造を総括する。

次節(2.2節)では、システムの要求性能とシステム設計に用いた Open Source 群の基本構成とその選定理由を詳らかにし、併せて大規模地下開発支援システムの基本構造の設計を示す。また、2.3節では、仮想空間に時間概念を導入するための時間フレームワークを設計し、これに準拠して当該システムに採用するデータベース構造の設計を行う。すなわち、地下開発に関わる情報には、地質環境や地理情報等のように時間経過にほとんど影響されない情報(以下、静的な情報)だけではなく、切羽進行や現場計測データ等のように時間経過に大きく依存する情報(以下、動的な情報)も含まれる。静的な情報は、今日の RDBMS と親和性が高いが、動的な情報に対しては RDBMS の機能と時間概念を連動させることのできる機構の設計が必要となるためである。最後に、2.4節では上記のデータベース構造を基に階層的な仮想現実空間の構築手法とその実際に関して記す。

## 2.2 地下空間支援システムのフレームワーク設計

### 2.2.1 システムの要求性能とその基本構成

今日、建設分野で用いられる各種データ処理システムは、データの効率的な管理・処理の面から、以下のような不具合を内包するものとする。すなわち、

- ① 用語の不統一やソフトウェアの違い等のため異分野データの共用性が欠如している。
- ② 地質、環境等が不完全な可視化水準にある。
- ③ システムとユーザーの対話性(interactive)が欠如している。
- ④ データ統合と3次元的表示のレベルが低い。
- ⑤ 多くのシステムが独立して存在し、相互のデータの融通性が低い。
- ⑥ データ処理が煩雑となるため意思決定に時間を要する。
- ⑦ システム理解の教育に時間と多額の費用を要する。

また、情報処理機器の高性能化・低価格化が日進月歩で進む今日にあっても、システム更新に多大な投資を行うことは難しいため、陳腐化したシステムが往々にして放置される問題も見逃せない。特に、ハード機器に大きく依存するシステムでは、たちまちのうちに陳腐化が進み、その償却が難しくなる。したがって、ハード機器に依存することがなく、かつ将来的な改良・拡張が容易なシステムが求められる。

このような現状から、地下空間開発支援システムに要求される1次の要求性能は以下のよう

に規定されるものとする。

- 1) 安定で標準化された開発ツールを用いる。
- 2) 低コストの可視化ツールを作成する。
- 3) 実寸法の可視化。
- 4) 使いやすいユーザー・インターフェイスの構築と対話性の確保。
- 5) 多彩なマルチメディア表示が可能なシステム。
- 6) 異種分野のデータ統合と表示。

ここで、1)は情報のいわゆる **Open Technique** の考え方であり、開発されたシステムを汎用的に使用できるだけでなく、多くの知見を集めてその改良等を進めることを可能とし、将来の拡張性を保証するものである。また、3),4) は直感的な操作性を確保することを目的としたものである。さらに、5) ,6)は各種の情報、すなわち音、文字、画像、動画、時間依存データ等の情報利用を可能とすることで、多角的な視点からの検討を可能にし、意思決定を助けることを目的とするものである。

以上に示したシステムの要求性能は、今日、**Web3D** と呼ばれる **VRML(Virtual Reality**

Modeling Language) や X3D (eXtensible 3D) 等の言語で実装される仮想現実技術により具現化されている。ここで、VRMLとX3DはWWW (World Wide Web) 上で3次元グラフィックス環境を構築するために考案されたファイル形式の規格である。したがって、VRML/X3Dを用いてシステムを開発ということは、システムをWWW上で構築することにほかならず、ハード機器やOSの違いによらない共通の環境を提供することが可能となる。

一方、RDBMSの開発にはSQL言語が用いられることが一般的である。今日、RDBMSの隆盛に伴い多くのSQL言語が開発されているが、本研究ではOpen Codeの思想に従い、Open SourceのSQL言語MySQL<sup>2),3)</sup>をベースにRDBMSの設計を行うこととした。MySQLは、Michael Widenius氏が中心となって開発・運用されているSQLデータベース言語であり、今日、最も広範囲に使用されるだけでなく、多くのユーザーにより日々改良が進められている。

以上のような検討から、WWW上の標準ファイル形式Web3D(VRML/X3D)とOpen SourceのSQL言語MySQLを採用することで、地下空間支援システムに要求される性能を満たしたシステムの設計が可能となるものと考えた。

## 2. 2. 2 システムの基本構造

本研究で設計した地下空間開発支援システムの基本構造を図-2.1 に概念図として示す。図において、A の仮想空間は VRML/X3D によって構築された仮想の地下空間である。この仮想空間内を、ユーザーはマウス等の操作によって視点を制御することで、あたかも歩行するかのように移動することが可能となる。そして、この操作により、求める情報が発生した地点へと移動することとなる。

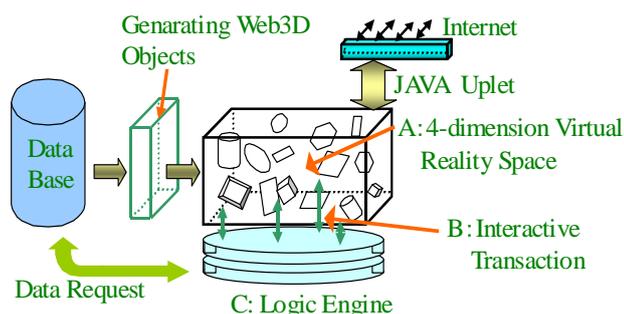


図-2.1 システム構造の基本概念図

このとき、この仮想空間が時間情報と連動するならば、仮想空間は指定された日時に応じた形状に変化する。すなわち、指定した日時における掘削延長や施工段階に応じた形状の仮想空間が現出する。

次に、B の両矢印は情報処理の要求とその表示を示すものであり、ここでは対話型情報処理を想定している。すなわち、ユーザーは情報を取得したい仮想空間上へ移動したのち、その地点で情報の呼び出しや処理の要求を行うこととなるが、その操作を表したものが B の両矢印である。ユーザーから要求を受けると、C の情報処理エンジンがデータベース上を検索し、必要な情報を収集するとともに、要求に応じた演算を実施し、その結果を表示する。このような処理は、検索するデータの主キーとして位置情報、ならびに時間情報を採用し、RDBMS との連携を確保することで可能となる。

以上のようなシステム開発アプローチは図-2.2 のように図化することができる。図に示すように、システムは大きく① DataBase、② Process & Analysis、ならびに③ Presentation & Visualization の機能に分類される。このうち、①および②の機能は RDBMS で提供される機能を援用して具現化され、③は Web3D の機能そのものである。

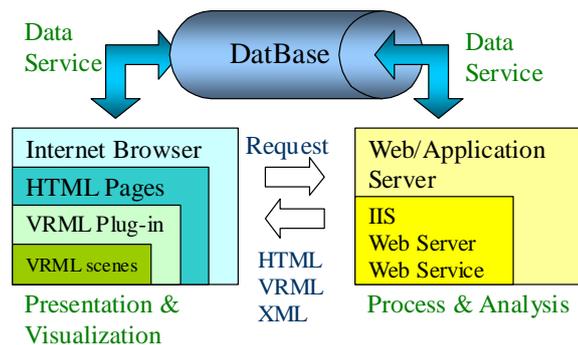


図-2.2 システムのフレームワーク

また、システムは Web 上に構築されるため、各機能間のデータのやり取りは XML(eXtensible Markup Language)<sup>4)</sup>を介して行うものとした。XML を用いることの利点は、簡単な構文で多様な形式を取り扱えるだけでなく、ネットワーク上で種々のサービスを可能とする点にある。すなわち、リモート経由で他のコンピュータのサービスを呼び出したり、Web 上でベクター画像の表現を行う等の機能をシステムに実装することが可能となる<sup>4),5),6)</sup>。

以上のような基本構成と基本構造に従い、以下では当該システムに採用する時間フレームワークを定義するとともに、これを実装することのできるデータベース構造の設計を実施する。

## 2.3 時間フレームワークとデータベース構造

前章までに、本研究で設計を行う地下空間開発支援システムの目的と基本的なシステム構成を示し、当該システムに Web3D と RDBMS を採用することの意義を明らかにした。RDBMS を採用するに当たっては、問題の特性を整理し、これに応じたデータベースの構造を設計しなければならない。

地下開発に関わる情報には、地質環境や地理情報等のように時間経過にほとんど影響されない情報だけではなく、切羽進行や現場計測データ等のように時間経過に大きく依存する情報も含まれる。静的な情報は、今日の RDBMS と親和性が高く、RDBMS によって提供される機能をそのまま使用することが可能である。しかしながら、動的な情報に対しては RDBMS の機能と時間概念を連動させることのできる機構の設計が必要となる。

このとき、当該システムにおいて取り扱う時間の概念が多様であることに留意しなければならない。すなわち、地下開発の場では、数億年、もしくは数万年単位の地質学的なデータと時分秒単位の施工サイクルデータが混在して存在し、これらが相互に関連する。当然のことながら、システムの基本時間単位を小さくとることができれば、多様な時間依存データを統一したデータベース構造で管理することは容易である。しかしながら、この方法は余りにも冗長性が大きく、CPU やデータ保存資源に過大な負荷を要求する。

このため、当該システムの設計に当たっては分散型のタイム・セグメント方式を採用し、これに関連付けたデータベース構造を考えた。

### 2.3.1 時間フレームワークと時間情報の表現

大規模地下空洞の構築とその運営は膨大な時間スパンに亘るものであり、この間に発生・変化する膨大な情報群をすべてメモリー上にロードし、演算処理することは CPU やメモリーに過大な負荷を与え、効率的なデータ処理を困難とする。したがって、効率的なデータ処理のためには、時間軸を適当なタイム・セグメントに分割し、必要なデータのみをロードすることが望ましい。

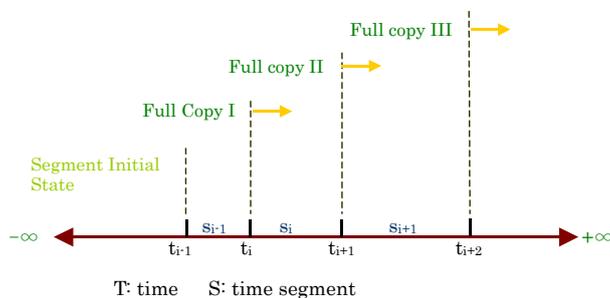


図-2.3 時間情報参照系とタイム・セグメントの分割

すなわち、任意のデータ処理作業において処理対象とするタイムスパンのデータ群のみを

オンライン(メモリー上にロードする)とし、それより過去、あるいは未来のタイムスパンに関わるデータ群はオフライン(メモリー上にロードしない)状態にとどめるという考え方である。

これを実現するため、本研究では図-2.3 に概念的に示すタイム・セグメント分割を提案し、これに従った情報管理システムを構築することとした。すなわち、時間軸を任意のスパンで多数のタイム・セグメントに分割し、各セグメントの初期状態ではその時刻で有効なオブジェクトに関するすべての情報がフルコピーされるものとする。そして、各タイム・セグメント間で発生する情報の生成・変化・消滅は、その変動だけが記録されるものとする。

このタイム・セグメント分割において、各タイム・セグメントの間隔は一樣である必要はなく、それぞれのタイム・セグメントが持つ情報の特性に応じて、その間隔を定めればよく、またその時間境界も厳密である必要はない。したがって、地下構造物に特有の地質情報、すなわち、地層、地質構造、化石等の地質オブジェクトに関する時間情報管理は地質年代や年代的層序区分等を用いて行うことが可能となる。例えば、カンブリア紀末、ジュラ紀中期等のような表現である。

このような時間区分は正確な時間境界を定義することが難しく、いわば曖昧(Fuzzy)な時間概念である。地質年代について言えば、研究者によって地質時間の参照系が異なり、今日もその統一した定義は成されていない。当該システムにおいては、このように曖昧な時間概念に特定の定義付けを行うことなく、曖昧のまま処理することを考えた。ただし、時間軸上における順序の整合性は担保しなければならない。しかし、これも厳密なものではなく、ジュラ紀前期はジュラ紀中期よりも古いというような、常識的な順序が確保できれば良い。

このような時間管理を可能とするためには、データベース上で表記可能な時間領域を大きく取る必要がある。一般に、データベース上での時間表現は `datetime` や `timestamp` 等のデータタイプが用いられ、ISO/IEC 9075-2:2003 (E) SQL/Foundation はデータタイプの時間表現構造を表-2.1 のように定めている。しかしながら、その具体的なデータ・フォーマットを与えてはおらず、時間表現は RDBMS ごとに定義されることが一般的である。

表-2.1 データタイプの時間表現構造

Key Word	Meaning
YEAR	year
MONTH	Month within year
DAY	Day within month
HOUR	Hour within day
MINUTE	Minute within hour
SECOND	Second and possibly fraction of a second within minute
TIMEZONE_HOUR	Hour value of time zone displacement
TIMEZONE_MINUTE	Hour value of time zone displacement

当該システムで取り扱う多様な時間概念を統合的に取り扱うために、本研究では時間情報を表-2.2 のようにダブルや 64 ビット整数によって表記することを提案する。このような標記を用

いることの利点は、地質年代を含む広範囲な時間領域の取り扱いを可能とするだけでなく、時間情報と座標データとを同じ数値型で取り扱うことが可能なため、時間データに対して空間データと同じインデックスを用いることができる点にある。

なお、**図-2.4**に当該システムのプログラミングに用いたC/C++言語のRun Time Libraryにおける時間データ構造を示す。図より明らかなように、当該の時間データ構造は表-1に示したデータタイプの時間表現構造と対応するものである。したがって、データベースとプログラミングとの統一的な時間データの取り扱いが可能となる。

**表-2.2** 当該システムのデータベース時間表記

データタイプ	表現可能空間
DATETIME	1000-01-01 00:00:00 to 9999-12-31 23:59:59
DATE	1000-01-01 to 9999-12-31
TIMESTAMP	1970-01-01 00:00:00 to partway through the year 2037
TIME	-838:59:59 to 838:59:59

```

struct tm {
    int tm_sec;           /* seconds after the minute - [0,59] */
    int tm_min;          /* minutes after the hour - [0,59] */
    int tm_hour;         /* hours since midnight - [0,23] */
    int tm_mday;         /* day of the month - [1,31] */
    int tm_mon;          /* months since January - [0,11] */
    int tm_year;         /* years since 1900 */
    int tm_wday;         /* days since Sunday - [0,6] */
    int tm_yday;         /* days since January 1 - [0,365] */
    int tm_isdst;        /* daylight savings time flag */
};

```

**図-2.4** C/C++ランタイム・ライブラリーの時間データ構造

### 2.3.2 データモデルの定義と SQL によるデータモデルの記述

前節で述べた空間概念と時間概念の定義に従い、地学データの世界をテーマによって分類することを考える。いま、すべての地学テーマは、空間情報 *SD*(Spatial Data)、時間的に鋭敏な特性 *FCA*(Frequently Changing Attribute)、ならびに時間的に安定な特性 *SA*(Stable Attribute)の関係スキーマ(Relation Scheme)によって記述されるものとし、それぞれのテーブルが次のような見出し(Heading)を持つものとする。

*SD*(*OID*, *SD*, *SMBB*, *TMBB*)

*FCA*(*OID*, *TMBB*, *A*)

*SA*(*OID*, *TMBB*, *A*)

すなわち、*SD*、*FCA*、ならびに *SA* は *OID*(Object Identifier)、*SMBB*(Spatial Minimum Bounding Box)、*TMBB*(Temporal Minimum Bounding Box)、および *A*(Attribute)の変数群によって表現されるものと考え。ここで *OID* は、地学オブジェクトの *ID* であり、関係データモデルの関係の主キーとなる。また、*SMBB* と *TMBB* は *SD* を表記する上で最小限必要な空間領域、ならびに時間領域をそれぞれ規定する外部キーである。

さらに、*A* は地学データの属性を示す変数であるが、*FCA* と *SA* とでその属性は異なり、互いに排他的な属性変数が用いられることに注意が必要である。これは、一つの地学オブジェクトに対して、静的な情報と動的な情報とに分離されるためであり、いうまでもなく静的な情報は *SA* の属性となり、動的な情報は *FCA* の属性となる。たとえば、任意の位置に設置された計測センサーの空間位置は静的な属性であるが、その測定された値は動的な属性である。また、坑道内を移動する車両の空間位置は動的な属性であり、車両の運転者は静的な属性である。これらの例にみられるように、同じ空間位置でも地学オブジェクトによって、動的属性になったり、静的属性になったりすることに注意が必要である。

また、このように静的な属性と動的な属性を峻別して情報管理することの利点は、動的な属性の変化だけを更新することで任意の地学オブジェクトの変化を記述することになり、データの冗長(Redundancy)を減少することが可能な点にある。

### 2.3.3 検索演算

前節に示したデータモデルの記述を用いれば、以下のような検索演算が可能となる。今、現場計測データのうちから、オブジェクト  $ID=1$  の測定機器が 2007 年 1 月 1 日 ( $T_s$ ) から 2007 年 12 月 31 日 ( $T_e$ ) の間に測定したデータを選択する問題を考える。このとき、時間区間を  $t_j=20070101$ ,  $t_{j+1}=20071231$  とすると、以下の操作によってそれぞれのテーブルでこの条件に該当する要素を抽出することができる。すなわち、

$$\begin{aligned} SD_{[t_j, t_{j+1}]}^1 &= \delta_{OID[1]} SD \otimes \delta_{TMBB[t_j, t_{j+1}]} SD \\ FCA_{[t_j, t_{j+1}]}^1 &= \delta_{OID[1]} FCA \otimes \delta_{TMBB[t_j, t_{j+1}]} FCA \\ SA_{[t_j, t_{j+1}]}^1 &= \delta_{OID[1]} SA \otimes \delta_{TMBB[t_j, t_{j+1}]} SA \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $Ak[m, m+1]$  はテーブル  $A$  のうち、 $OID=1$  かつ  $m \leq TMBB \leq m+1$  の期間内にある要素の集合を示す。また、 $\delta L[nn]A$  は、テーブル  $A$  において見出し  $L$  の条件  $[nn]$  に適合する要素を抽出する演算子を、または自然結合の演算子を示す。

このように抽出された要素群を、さらに次式のように自然結合することで、目的とするデータの選択が可能となる。

$$T^C = SD_{[t_j, t_{j+1}]}^1 \otimes FCA_{[t_j, t_{j+1}]}^1 \otimes SA_{[t_j, t_{j+1}]}^1 \quad (2)$$

上記のように、すべての地学テーマを空間情報  $SD$ 、時間的に鋭敏な特性  $FCA$ 、ならびに時間的に安定な特性  $SA$  の関係スキーマによって記述することにより、 $FCA$  のみに動的な情報が記述されることになり、データ構造が非常に単純化される。このデータ構造では、データ選択作業に複数以上の段階を要することになるが、データ構造が単純なためテーブル結合操作も単純化され、テーブル結合操作によるシステム性能低下を回避し得るものと考えられる。

## 2.4 RDBMSを援用した仮想現実空間の構造

地下空間開発の場において、最も重要な地学情報、たとえば3次元地層構造、地学境界面、不規則地質体等の地学オブジェクトを工学的に要求される精度でモデリングすることは困難であるとされる。これは、坑道等の地下空洞オブジェクト等と比較してこれらのオブジェクトの粒度 (*granularity*: オブジェクトの構成単位寸法) が相対的に大きいことに起因する。

これまでに開発されてきた幾何学情報のモデル化手法は、フィールドモデルやベクターモデルを重層的に配置して構築することが一般的であるため、粒度が異なるオブジェクトを符号化する際に同型の地物が一種類に統合され、類似地物間の差異を表現することが困難となる。

このため、その可視化表現も制限を受けることとなり、岩種分布等の地学的な多様性や、特異な岩盤特性等の微視的な地学情報がモデル化の過程で失われてしまう。当然のことながら、大規模地下開発の場で発生する特異情報の工学的価値は、それが属するモデルの空間規模とは異なる価値を持つ。

ここでは、仮想現実空間における可視化表現の多様性を確保することを目的として、個々の地学オブジェクトを多層構造の幾何学要素の集合として表現し、この幾何学要素を前章で述べた構造でデータベース化することで多様な仮想現実空間を創生することのできる構造とその形式を提案する。

### (1) 仮想現実としての GeoWorld と GeoNetwork

当該システム内に、われわれが構築しようとする仮想現実空間は現実世界をそのまま再現しようとするものではなく、ユーザーが必要とする情報を提供するための場(Field)であることに注意しなければならない。したがって、現実世界にある事象をあまねく仮想化する必要はない。また、その場の広がりも有限なものでよい。言い換えれば、ユーザーが必要とする情報を適確に認知し得ることのできる仮想世界であれば良い。この意味でここで構築する仮想現実世界を **GeoWorld** と呼ぶこととした。

しかしながら、ユーザーの必要とする情報はその時々に応じて任意であり、**GeoWorld** はその要求に応じて、適宜、その形態を変化させる必要がある。このように可変な **GeoWorld** は GIS のようにあらかじめ用意された層(Layer)を重ね合わせることで構築することはできないため、その下位に **GeoNetwork** の概念を導入することとする。

図-2.5 は瑞浪超深地層研究所プロジェクトにおける任意の **GeoWorld** の例を示したものである。図に示されるように、当該 **GeoWorld** は地上施設群、地表形状、主立坑、換気立坑、接続坑道群、調査ボーリング群、中間ステージ、ならびに最深ステージ等のように機能別に分類された地学オブジェクト群から構成されている。

このように機能や目的によって分類された地学オブジェクトの集合をここでは **GeoNetWork** と定義し、**GeoWorld** を構成する単位オブジェクトとする。ここで、**GeoNetWork** を分類する規範となる機能や目的は、ユーザーによって与えられるものであることに注意が必要である。

この GeoNetwork の概念を導入することによって、ユーザーが必要とする GeoWorld を、随時、自由に構成することが可能となる。いま、中間ステージにおいて実施された科学的調査や実験に関する情報を検索する場合を考えよう。

このとき、中間ステージに関連する GeoNetwork だけ呼び出せば、図-2.6 に示す GeoWorld を作成することができる。図-2.5 と比較するとき、所与の目的に対しどちらの GeoWorld が効率的な検索作業を可能とするかは自明であろう。また、このことは仮想世界を構成する GeoNetwork によって GeoWorld の領域が変化することを示すものである。GIS ではあらかじめ規定された領域内でのデータ検索作業を強いられるが、GeoWorld はその作業領域をも可変であり、ユーザーのニーズに合わせて設定することが可能である。

なお、GeoNetwork は固定された形態を保持する集合ではなく、ユーザーの要望に応じて自由に設定することが可能である。トンネルや立坑のような線状構造物は、断面寸法に比して延長距離が著しく大きいため、仮想現実の画面操作に習熟を要求される。このような線状構造物では、トンネル延長 100m 毎、あるいは立坑深度 100m 毎に独立した GeoNetwork を作成すれば、画面操作を簡便化することが可能で、作業効率が大きく向上する。本研究で設計するシステムでは、GeoNetwork を作成・変更するための機能を GeoNetwork Editor として実装するものとした。

## (2) GeoNetwork のデータベース構造

GeoNetwork をユーザーの希望に合わせて定義することを可能とするのは、GeoNetwork がさらに分化した地学オブジェクト群の集合であるためである。例えば、300m 深度連接坑道の GeoNetwork を取り出せば図-2.7 に示すように主立坑連接部、換気立坑連接部、連接坑道、機械チャンバー、地下水ピット等の地学オブジェクトで構成される。このように、GeoNetwork を構成する個々の地学オブジェクトの幾何学モデルを GeoDataSource と呼ぶものとする。ここで注意しなければならないのは、GeoNetwork は幾何学情報だけでなく、その位置で発生した各種のデータをも包括した概念であるのに対し、GeoDataSource は幾何学情報だけで構成される概念であることである。

この概念群の関係は図-2.8 のように示すことができる。図-2.8 には、新しい概念として GeoDataSource と結びついた GeoInfoLibrary が導入されている。これは、3章で定義した SA(Static Attribute)と FCA(Frequent Change Attribute)の地学テーマが一つに格納されたデータベースである。したがって、GeoDataSource は SD(Spatial Data)に相当することとなる。

GeoDataSource と GeoInfoLibrary を別個に管理することは、迂遠に思われるかもしれない。しかし、地下空間形状は時間変化とともに変化するものであり、GeoDataSource も時間変化とともに変化する。このとき、時間変化する GeoDataSource と GeoInfoLibrary との整合性を柔軟に担保するためにこのようなデータ構造を採用した。

ここで、GeoDataSource と GeoInfoLibrary との自然結合は主キー-OID(Object Identifier)、および外部キー-TMBB (Temporal Minimum Bounding Box)を介して行われる。したがって、

GeoDataSource は OID と TMBB を備えなければならない。

以上のような、仮想現実空間の構造をクラス図として表したものが図-2.9である。図-2.9をみると、新しい概念としてクラス GeoNode, およびそのスーパークラス GeoNodes が現れている。GeoNode は GeoDataSet の属性-GeoObjects:GeoNodes を継承するものであり、GeoWorld における GeoDataSet の相対的な位置を示す概念である。

GeoDataSet が GeoDataSource を構成するに当たり、個々の GeoDataSet 間の位置関係が詳らかでなければ、整合性のある GeoDataSource を構成することはできない。GeoNode はこのような GeoDataSet 間の位置的な整合性を確保するための属性であり、GeoDataSet の重心位置の(x,y,z)座標が絶対座標系で示される。この関係は GeoDataSource と GeoNetwork, および GeoNetwork と GeoWorld の間においても制約条件として課されるものである。

なお、図-2.9 に示されるように GeoDataSource もさらに下位の GeoDataSet, およびその下位の部品モデルから構成される。これらの部品モデルは市販のモデル作成ソフト等で作成すれば良いが、GeoDataSet 上には Web3D に変換されたモデルが格納されなければならないことに注意する必要がある。

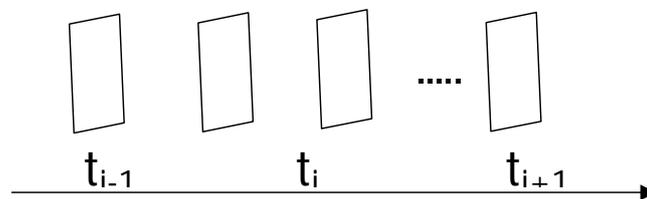
#### 参考文献

- 1) 板倉賢一、佐藤稔紀、山地宏志:Web3D と RDBM を援用した大規模地下開発支援システムの開発報告書、平成 18 年度(財)日本建設情報総合センター研究助成報告書、2007.
- 2) Dubois, P., Stefan Hinz and C.Pedersen : Mysql 5 Certification Study Guide(Mysql Press), Sams; Pap/C, 2005.
- 3) Pachev, S.: Understanding MySQL Internals , Oreilly & Associates Inc, 2007.
- 4) Erl, T.: Service-oriented Architecture - Concepts, Technology, And Design-, Prentice Hall, 2005.
- 5) Eric Van Der Vlist: Xml Schema, Oreilly & Associates Inc, 2005.
- 6) 丸山則夫 : 実践!!XML のスキーマ設計ハンドブック, ソフトリサーチセンター, 2002.

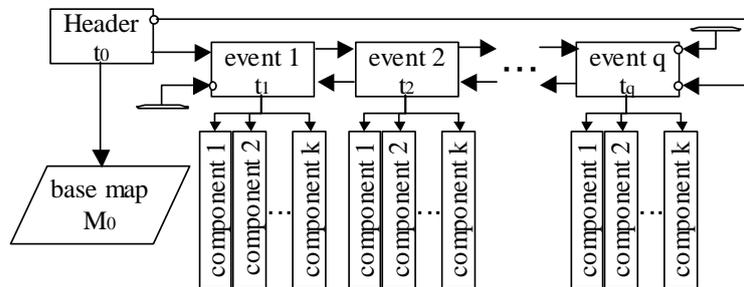
### 3. 柔軟な時間概念導入のための時間・空間領域の再定義

#### 3.1 概説

従来の GIS データモデルは静的な現実感を表現するために、複雑な幾何学物体を数種類の単純な幾何学形(例えば点線多角形とその他)の集合に単純化し、抽象化する。これは、時間とともに変化する時空間依存型地理情報を可視化することが、今日の GIS 技術では困難なためである<sup>1)</sup>。この目的のために、地科学(Geo-Science)の分野ではしかしながら、幾つかの時間データモデルがさまざまな目的のために提案されている。たとえば、図-3.1 に概念的に示すスナップショットモデルや事象依存型データモデル<sup>2)</sup>などである。しかしながら、これらのデータモデルは特定の目的のために提案されたデータモデルであり、汎用的に適用することの出来る制限の少ない時間データモデルは見当たらない。



(a)スナップショット・データモデル



(b) 事象依存型データモデル

図-3.1 改良型時間データモデル<sup>2)</sup>

これは、今日の GIS 技術の限界を示唆するものであり、われわれの研究も、この隘路に陥った可能性を否定できない。すなわち、平成 19 年度に構築した地下空間 GIS のフレームワークでは、これまでに提案されたデータモデルのいずれを用いても、各種形式が混交する乱雑な時間データへのアクセスは限界があった<sup>3)</sup>。

本研究では、このような時間データへの円滑なアクセスを可能とすることを考え、柔軟な時間概念を導入するとともに、これに適した時間・空間概念の再設計を行うことで、これを解決することを試みた。時間データへのアクセスをシステム構造的に把えれば、図-3.2 に示されるように、データベースを検索する人間の時間記憶はあいまいであるのに対し、データベース上に

累積された時間データは離散的(discrete)なデジタルデータの集合である。このため、あいまいな時間記憶を基にデータにアクセスすることができず、デジタル値として時間領域を指定することが求められる。本研究で提案する柔軟な時間管理概念とは、あいまいな時間記憶を図-3.2に示されるようにシステムソフト論的なアプローチによりデジタル時間データへと変換することで、このギャップを解消し、検索、ならびにデータ処理を実行しようとするものである。

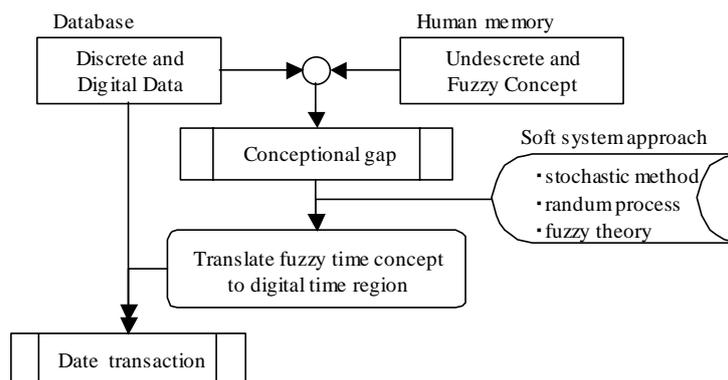


図-3.2 データ処理における柔軟な時間管理の構造

本研究では、このシステムソフト的なアプローチとしてファジィ理論を採用した。これまで、コンピュータ上では、各種データを数値としてしか取り扱うことができなかった。例えば、現在の室温が 30℃で、ある人が暑いと感じているとする。そこで、冷房により涼しくすることを考える場合、従来のデータ管理手法では室温 26℃度のように、設定温度を特定値に定めなければならない。しかし、室温 26℃であれば、全ての人が涼しく感じるとは限らない。また、身長の高さを判断する場合、180cm を高身長の規準とすると、179cm の人は身長の高い人と判断されることになるが、人間の感覚的には必ずしも納得がいくものではない。ファジィ理論はこのような人間のあいまいな感覚を定量的に評価し、処理することのできる理論であり、近年多くのシステム分野で利用が広がっている。

このため、次節 3.2 において、当該システムに組み込むファジィ演算、ファジィ推論、ならびにファジィ積分について説明を行う。ついで、3.3 節ではシステムの時間概念の再設計を行うとともに、上記のファジィ演算等をシステムに組み込む手法の設計を行い、その設計手法に関する検証を実施する。

## 3.2 ファジィ集合の概念と演算

### 3.2.1 ファジィ理論とその応用

ファジー集合は、1965年にアメリカのカリフォルニア大学のL.A.Zadeh教授により、人間の主観的な思考や判断のあいまい性を定量的に取り扱うことを目的として提案された。この理論は、当初、あまりにも理論的すぎてさほどの注目を集めることはなかった。しかしながら、1970年代頃から次第に工学技術者の関心を集めはじめ、1980年にデンマークのシュミット社がセメントキルンのファジィ制御器を商品化したことを契機として、産業界での実用化が急速に開始されるようになった。また、1984年には、国際ファジィシステム学会(IFSA:International Fuzzy Systems Association)が設立され、隔年毎に国際会議が開催されることとなった。

ファジィ理論は、わが国の土木工学分野でも注目を集め、浄水場の制御や仙台市の地下鉄の自動運転をはじめとするエキスパートシステムとしてのファジィ制御の実用化や、岩盤分類へのファジィ推論の応用なども行われている。

今日、ファジィの応用範囲は非常に広く、多彩な場面で利用されているが、最も広範にりようされているのはファジィ制御である。ファジィ制御はファジィ制御は IF~THEN~の形でいくつかのルールを設定し、そのルールに基づいて制御を行いうが、一般的な制御理論と異なる点は、厳密なモデル化が不要であるところにある。IF-THEN ルールは設定された条件に対する操作ルールの集合であるから、作業員の機械操作にかかわる知見を利用して制御が行なわれる。したがって、機械の機構が不明であっても、その挙動さえ明らかであれば制御が可能となる。

また、実際のファジィ制御では数百を超える IF-THEN ルールにより制御が行われ、ルール群は相互に重なり合った条件がカバーされるため、ルールの一部が破損しても、残ったルールにより盛業が継続される。これを頑健性と呼ぶが、ルールが破損した場合、ある程度精度が低下することは否めない。

一方、ファジィ制御は膨大な IF-THEN ルールを処理するため、計算量が非常に多く、実用的な処理速度が得られない場合がある。このため、ある程度高速なプロセッサ、もしくはファジィ演算用のチップが必要となる。さらに、非常に厳密な制御を求められる場合に適さないとされる。

このほかにも、データベース検索や、順位づけ法、組み合わせ最適化などの意思決定支援、エキスパートシステム、文字認識、画像認識など様々な用途にファジィ理論は応用される。本研究では、意思決定支援の一つとしてあいまいな時間管理概念をデータベース検索に適用しようとするものであり、このためには一般的なファジィ演算だけでなく、ファジィ推論、およびファジィ積分が必要となる。

### 3.2.2 ファジィ集合とファジィ演算

一般に、工学的な数値的な表現は、“20°C”や“50km/h”等のように、一定の値に属するか属さないかだけで現される。このような表現方法で現される集合は、数学的にクリस्प集合(Crisp Set)と呼ばれる。これに対し、ファジィ(Fuzzy)は、ある範囲にどの程度属するか属さないかで示される集合として現せばよく、この集合をファジィ集合(Fuzzy set)と呼ぶ。すなわち、ファジィ集合はあいまいさを数字として表現する集合である。

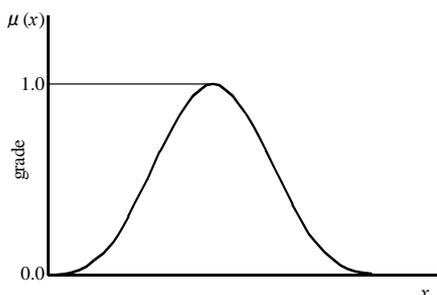


図-3.3 ファジィ集合の例

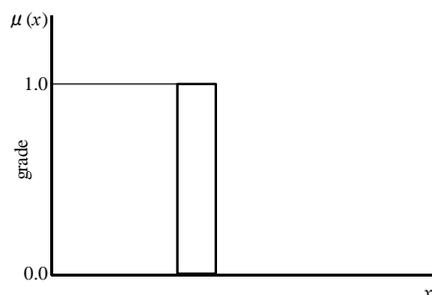


図-3.4 クリस्प集合の例

図-3.3、3.4 にファジィ集合とクリस्प集合の概念図をそれぞれ示す。図において、グレード(grade)とは、それぞれの値が集合に属する割合を示すものであり、図-3.4 に示されるようにクリस्प集合ではグレードを[0,1]の二値で表現されるのに対し、ファジィ集合は図-3.3 に示すようにグレードを[0~1]の中間値を持って表現することで、あいまいさを表現することができる。したがって、あいまいな評価や人的な感覚を数値として表現することが可能となる。

たとえば、身長表現を例にとると、身長が“高い”という評価は何 cm 以上という基準値を明確に設けることは難しく、いたって主観的な評価に依らざるを得ない。いま、180cm 以上の身長を明らかに背が高い(grade=1.0)、160cm 以下の身長を明らかに背が低い(grade=0.0)とし、この二点を回帰した曲線を図-3.5 のように引くと、この曲線により伸張が“高い”度合をあらわすことが可能となる。

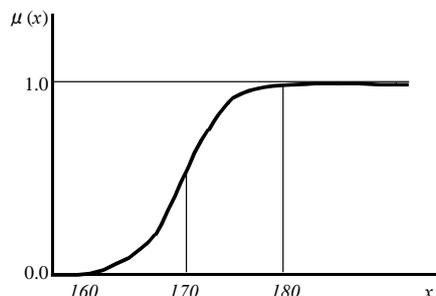
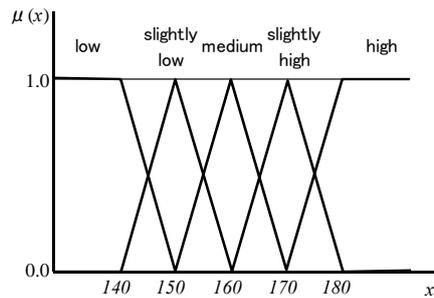


図-3.5 背が[高い]のファジィ集合

一般に、この線のことをメンバーシップ関数(membership function)と呼び、その度合をグレード値(grade value)、あるいはメンバーシップ値と呼ぶ。ここでは、メンバーシップ関数を曲線であらわしたが、一般的には計算を容易とするため、**図-3.6** に示す三角形のファジィ集合がよく用いられる。**図-3.6** は身長の評価するメンバーシップ関数を三角形のファジィ集合であらわしたものである。



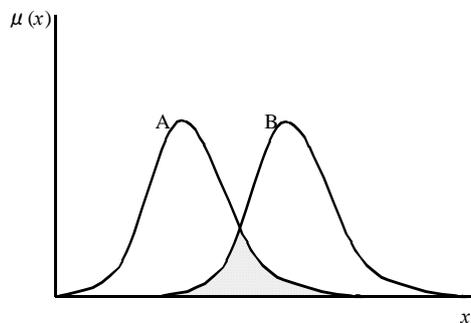
**図-3.6** 身長ファジィ集合

このファジィ集合は、AND 演算、OR 演算、NOT 演算等の演算が可能であり、問題に応じて、適宜、定義されたファジィ集合からこれらの演算を介して推論、制御、評価等が可能となる。以下では、ファジィに基本的な演算について説明を加える。

**(1) AND 演算(積集合)**

AND 演算は、A でありかつ B である集合を求める。すなわち、**図-3.7** のように A と B の両方の重なる部分の集合を積集合として求める演算である。一般に  $A \cap B$  と表記され、数学的には以下のように表記される。

$$\mu_{A \cap B} = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \tag{3.1}$$



**図-3.7** AND 演算

たとえば、エアコンの室温設定を考えると、快適に感じる温度は個人によって異なる。図-3.5において、横軸を室温とし、Aを“A氏が快適と感じる温度”、Bを“B氏が快適と感じる温度”とすると、ハッチされた領域は“A氏、B氏がとも快適と感じる温度”の範囲を意味する。A、Bはファジィ集合だから、気温に対するそれぞれの快適な度合を示す。したがって、AとBの積集合  $A \cap B$  は“A氏、B氏がとも快適と感じる温度”の度合を示すこととなる。

## (2) OR 演算(和集合)

OR 演算は、AであるかまたはBである集合を求める。すなわち、OR 演算では、図-3.8のようにAとBの両方をたしあわせた集合が和集合として求める演算である。一般に  $A \cup B$  と表記され、数学的には以下のように表記される。

$$\mu_{A \cup B} = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (3.2)$$

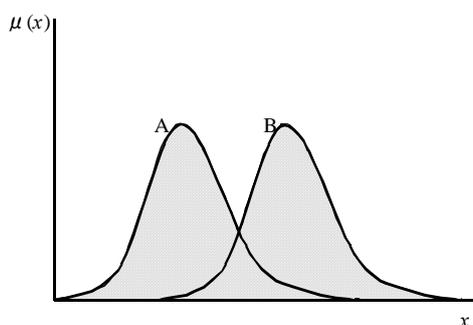


図-3.8 OR 演算

上記のエアコンの室温設定を例にとると、OR 演算より求められる和集合  $A \cup B$  は“A氏かB氏のどちらか一方が快適と感じる温度”の度合を表すファジィ集合となる。

## (3) NOT 演算(補集合)

代数的に、NOT 演算は、Aでないという否定集合を求め、 $A^c$ と表記される。ファジィ集合では、否定が幾つか定義され、Zadehの否定、直観主義の否定、 $\lambda$ -補集合などが知られている。本研究では、Zadehの否定と直観主義の否定をシステムに採用し、問題に応じ、適宜、適用するものとした。

Zadehの否定では、メンバーシップのグレード値は要素がその集合(概念)に属する度合をあらわすものとする。したがって、グレード値が1ならば要素がその集合に100%属し、グレード値が0ならばその集合に全く属さないこととなる。したがって、Zadehの否定は以下のように計算される。

$$A^c = 1 - \mu_A(x) \quad (3.3)$$

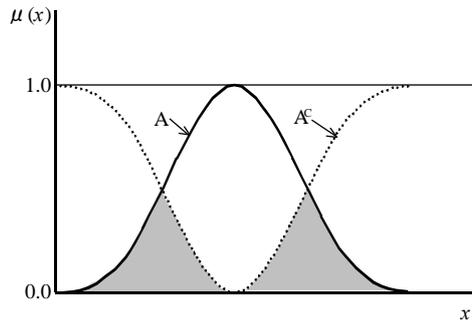


図-3.9 NOT 演算(補集合)

Zadeh の否定は、基本的に論理否定と一致するが、以下の二点について齟齬が生じることに注意が必要である。すなわち、

- ① 否定と肯定の両立
- ② 二重否定の解が論理的二重否定と異なる。

図-3.9 において、二つの集合  $A$  と  $A^c$  が重なる領域(ハッチされた領域)は、“ $A$  である”と“ $A$  でない”が両立することになり、これが論理的に不整合であることは自明であろう。また、Zadeh の否定における二重否定はもとの集合( $A$ )となるが、論理的否定ではもとの集合とはならない。たとえば、“背が高くないことはない”という二重否定は、論理的には“背が高い”を意味することではなく、“ほどほどに背が高い”との意味を持つ。

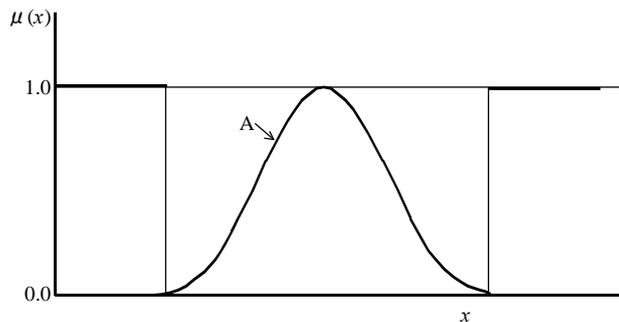


図-3.10 直観主義の否定

これに対し、直観主義の否定はこの二つの性質を満たす否定形式となる。直観主義の否定において、 $A$  でない集合は、 $A$  以外であれば真、 $A$  の範囲であれば偽となる形態をとる。すなわち、

$$N_I(\alpha) = \begin{cases} 1, & \alpha = 0 \\ 0, & \alpha > 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

グラフ化すると図-3.10 ようになる。ただし、A の範囲では 0 の値を取り、二値論理の否定と同地をなす。

#### (4) 代数和、代数積

代数和、代数積は OR 演算、AND 演算を代数計算のように求めようとする演算法であり、記号は代数和が (+)、代数積が (・) の記号で表され、その演算は以下ようになる。

$$\begin{aligned} A \&B &= A + B - AB \\ A \cdot B &= AB \end{aligned} \quad (3.5)$$

#### (6) 限界和、限界積

限界和はファジィ集合の和をとり、その和が 1 を越えるときは上限を 1 とする演算である。また、限界積はファジィ集合の和から 1 を除し、これが 0 を下まわるときは下限を 0 とする演算である。限界和を  $\oplus$ 、限界積を  $\odot$  の記号により表記し、それぞれ以下の演算を行う。

$$\begin{aligned} A \oplus B &= (A + B) \wedge 1 \\ A \odot B &= (A + B - 1) \vee 0 \end{aligned} \quad (3.6)$$

#### (7) 激烈和、激烈積

激烈和は、式(3.7)に示すように、二つのファジィ集合の両方が 0 でなければ 1 の値を、もし片方が 0 ならば、もう一方の値をとる演算である。また、式(3.8)に示すように、激烈積は二つのファジィ集合の、両方が 1 でなければ 0 の値を、もし片方が 1 なら、もう一方の値をとる演算である。記号は、激烈和が  $\vee$  で、激烈積が  $\wedge$  で示される。

$$A \vee B = \begin{cases} A, & (B = 0) \\ B, & (A = 0) \\ 1, & (A, B > 0) \end{cases} \quad (3.7)$$

$$A \wedge B = \begin{cases} A, & (B = 1) \\ B, & (A = 1) \\ 0, & (A, B < 1) \end{cases} \quad (3.8)$$

### 3.2.3 ファジィ推論

ファジィ推論は、コンピュータに推論を行わせるには手法の一つであり、推論機構にファジィの考え方を導入することで、前提条件と答えとの関係に幅を持たせることが可能となる点に特長がある。しかし、ファジィ推論はあいまいさを扱う推論なので、常にはっきりとした(クリスパな)内容の推論しか行わないのであれば、意味を成さないことに注意が必要である。

ファジィ推論は、命題論理の演算に、あいまいさ(Fuzziness)を用いることにより拡張を行った推論法である。ここで、命題論理とは、いわゆる三段論法によりおこなわれる推論過程を意味し、まず前提条件として常識的知識と現在の条件を用意し、これらから帰納的に答えを導きます推論過程である。

たとえば、エアコンによる室温制御の問題を考える。このとき、常識的知識として“部屋が暑いと感じたならば冷房の設定温度を下げ、逆に寒いと感じたならば冷房の設定温度を上げる”という知見が与えられる。これを基に、以下のような現在の条件から制御の推論を得ることが可能である。

(現在の条件)	(現在の条件)	(制御の推論)
#1 もし 室温が少し暑く感じる		ならば 冷房を少し増す
#2 もし 室温がかなり暑く感じ	て 室内に多数の人がいる	ならば 冷房をかなり増す

このように、ファジィ推論とは、人間が日常的に行う推論を、ファジィ集合を用いて行う推論である。すなわち、この(現在の条件)や(制御の推論)に含まれるあいまいな表現(少し暑い、かなりの人数、少し増す等)にファジィ集合を採用し、推論を実行するものである。

また、上記の例より明らかなように、ファジィ推論では、推論が IF-THEN 形式のルールで表現される。すなわち、

IF (x is A) THEN (y is B)

なお、(x is A)を前件部、(y is B)を後件部と呼ぶ。ファジィ推論の特徴は、前件部の条件数を複数にすることが可能である点にある。すなわち、

IF (x<sub>1</sub> is A<sub>1</sub>) AND (x<sub>2</sub> is A<sub>2</sub>) THEN (y is B)

のような推論が可能となる。ファジィ推論は、入力された情報に対し、感覚的な推論を行い、その推論結果を得ることができるから、情報に対する厳密な数学モデルを適用することなく、種々の推論結果を合成し、総合的な評価を与えることが容易となる。このため、ファジィ推論には以下のような利点があるものとされる。

- 操作に関する人間のノウハウを推論として利用できる

- 総合的な判断ができるため、きめの細かい推論が可能
- 厳密な数学モデルが不要
- 人間の感覚に近い結果が得られる

前記の例題#2 において、前件部(室温がかなり暑く感じ)のグレード値が 0.8、前件部(室内に多数の人がいる)のグレード値が 0.6 であるものとすれば、前件部の演算は AND 演算だから、

$$\mu_{A \cap B} = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \min(0.8, 0.6) = 0.6$$

より、前件部のグレード値は 0.6 となる。したがって、後件部(冷房をかなり増す)のグレード値は 0.6 となる。この AND 演算は図-3.11 のように図示される。

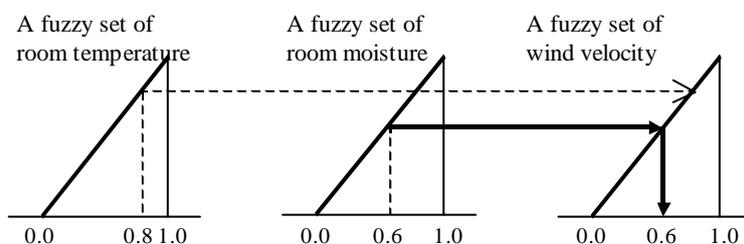


図-3.11 簡単な推論の例

一方、常識的知識(以下、ルールと呼ぶ)が多数存在する場合、後件部から求まる解が複数存在する。このため、解の合成が必要となる。解の合成の手法は、Min-Max 法、代数積-加算重心法、簡略化推論法などが提案されているが、本研究では、Min-Max 法を採用するものとした。Min-Max 法は、後件部のグレード値(前件部の解)を求める際に AND 演算を用い、後件部の重心を求める際には OR 演算(Max)を用いるものである。

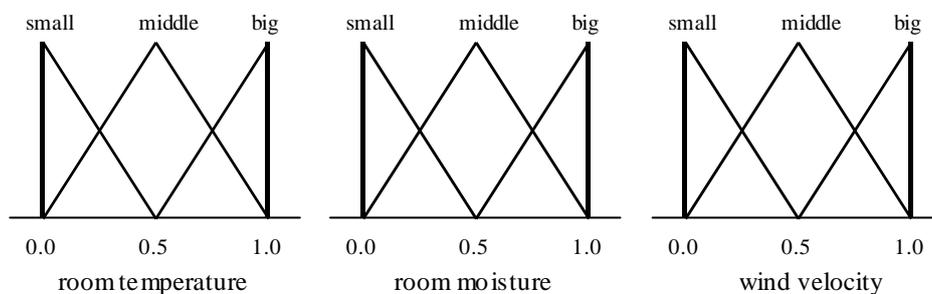


図-3.12 各要素のファジィ集合

いま、室温と湿度から、エアコンの風量を評価する問題を考える。ここで、各ファジィ集合は 図-3.12 のように与えられているものとする。ここで、bigは室温や室内温度が高い、middle は中程度、small は小さいという評価を与える。ここでは、(big, middle, small)を峻別せず、隣り合う両方の属性を持たせ、よりファジィ的な扱いを行った。これに対して、以下のような簡単なルールが与えられ、室温の度合が 0.8、湿度の度合が 0.6 であるものとする。

- Rule 1 IF (室温 is big ) AND (湿度 is big) THEN 風量 is big  
 Rule 2 IF (室温 is middle) AND (湿度 is middle) THEN 風量 is middle  
 Rule 3 IF (室温 is small ) AND (湿度 is small) THEN 風量 is small

このとき、図-3.12 から室温の適合度は big=0.6、middle=0.6、small=0.0 が与えられる。一方、湿度についても、図-3.12より、big=0.2、middle=0.8、small=0.0をえる。これをもとに、各ルールについて AND 演算 (Min) を行うと式(3.1)および図-3.13 より以下の解を得る。

- Rule 1 の前件部  $\mu_{A \cap B} = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \min(0.8, 0.3) = 0.3$   
 Rule 2 の前件部  $\mu_{A \cap B} = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \min(0.4, 0.7) = 0.4$   
 Rule 3 の前件部  $\mu_{A \cap B} = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \min(0.0, 0.0) = 0.0$

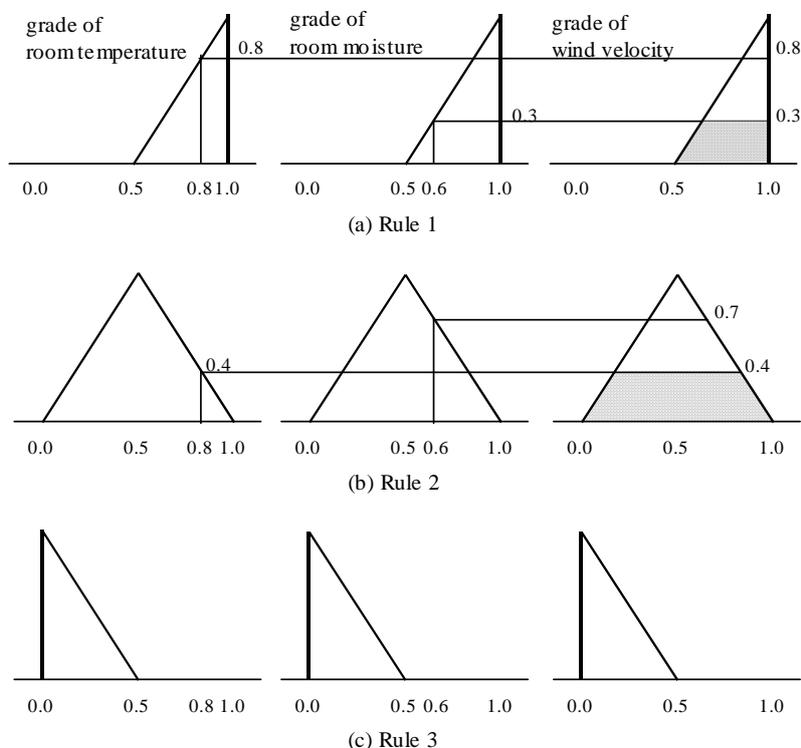


図-3.13 前件部 AND 演算

したがって、各ルールの後件部より、風量について以下の解を得る。

Rule 1 より、big = 0.2

Rule 2 より、middle = 0.4

Rule 3 より、small = 0.0

最後にこれらの集合に OR 演算を施して得られたファジィ集合の重心をとり解とする。Min-Max 法では、後件部のファジィ集合を前件部から求めたグレード値で切り取って台形型のファジィ集合を作り、この集合の和の重心を取る。いま、求める重心を  $y_0$ 、横軸を  $y$ 、合成したファジィ集合を  $\mu(y)$  とすると、その重心は以下の式で求められる。

$$y_0 = \frac{\int y \cdot \mu(y) dy}{\int \mu(y) dy} \quad (3.9)$$

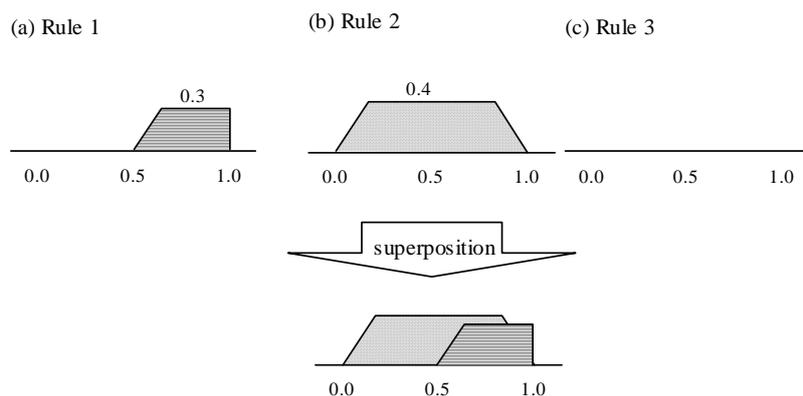


図-3.14 Min-Max 法

式(3.9)、および図-3.14 より、このときのエアコン風量の強さは 0.3625 と求められる。ファジィ推論では、単純なルールをいくつか採用することで、中間値についても推論を行って解を求めることができるとともに、ルール数を増やすことで推論の精度をあげていくことも可能である。このことは、ルールがいくつか欠損してしまったとしても、精度が低下するだけで、推論そのものは継続できることを示す。

### 3.2.4 ファジィ測度とファジィ積分

#### (1) 測度とファジィ測度

測度とは、ものを測る度合を意味し、ある対象を測るために用意する共通の単位である。のようなものと思ってください。測度の例としてしばしば挙げられる長さ・面積・体積等は、それぞれ一次元・二次元・三次元の集合に対する測度であり、逆に測度とは長さ・面積・体積といった概念の一般化であると説明される。

数学的には、加法的集合関数として測度(加法的測度)が以下のように定義される。

1. 空集合の測度は 0 となる。
2. 集合 A が集合 B の部分集合ならば、A の測度は B の測度よりも小さい(単調性)。
3. 集合 A と集合 B の積集合が空集合ならば、A と B の和集合の測度は A の測度と B の測度の和に等しい(加法性)

1. に関していえば、空集合はその要素が存在しないのだから、何も無いものに対しては大きさを定義できないことは自明であろう。したがって、その測度は 0 となる。また、測度を体積とすると、A は B の一部であるから全体体積 B は部分の体積 A であることは自明である。

3. の加法性において、“集合 A と集合 B の積集合が空集合ならば”の意味は、互いの集合が独立であることを意味する。これは、測度を体積とすると、全く異なる二つの固体 A、B が存在することを意味し、“A と B の和集合の測度”とは、別個の固体 A と B を合わせた全体の体積を意味する。したがって、“A の測度と B の測度”は A の体積と B の体積だから、これの和が“A と B の和集合の測度”と等しいことは自明となる。一般的な測度として用いられる長さ、面積、体積などは上記の 3 条件を満たし、加法的測度となる。

このような、一般的な測度に対し、ファジィ測度とは、ファジィ測度は加法性の成り立たない測度として定義される。ファジィ測度とファジィ積分は、1972 年に東京工業大学の菅野道夫氏によって提案された数学的概念であり、しばしば作業効率を用いて説明されることが多い。いま、3 名の作業員がズリだし作業に従事するものとし、それぞれの作業員が 1 日 30m<sup>3</sup> のズリ出しを行う能力があるものとする。このとき、3 人でズリだし作業を行えば 1 日 90m<sup>3</sup> のズリ出しが必ず行えるとは限らない。3 人で協力することで 100m<sup>3</sup> の図入り出しが行えるかもしれないし、逆に作業効率が落ちて 70m<sup>3</sup> のズリ出ししか行えないかもしれない。このように、現実世界における測度というのは、必ずしも加法的であるとは限らない。

従来の測度関数では、1+1 が 2 になる現象しか扱えなかった。すなわち、測度  $m$  において、 $A \cap B = 0$  のとき、

$$m(A \cup B) = m(A) + m(B) \quad (3.10)$$

の関係が成り立たなければならなかった。これが、上記の加法性である。しかし、ファジィ測度

$\mu$  では  $A \cap B = 0$  のとき、

$$\begin{aligned}\mu(A \cup B) &> \mu(A) + \mu(B), \\ \mu(A \cup B) &< \mu(A) + \mu(B), \\ \mu(A \cup B) &= \mu(A) + \mu(B)\end{aligned}\tag{3.11}$$

のうちの、いずれもが成り立つことが許容される。ただし、このような場合でも、単調性は成り立つ。したがって、ファジィ測度は、以下の二つの条件が満たされるとき成立することになる。

1. 空集合の測度は 0 となる。
2. 集合 A が集合 B の部分集合ならば、A の測度は B の測度よりも小さい(単調性)。

式(3.11)の最初の式は A と B の間に相乗作用または補完性があることと解釈される。また、2 番目の式は A と B の間に相殺作用または代替性があることと解釈でき、さらに 3 番目の式は A と B の間には相互作用がないこと、または互いに独立であることと解釈することができる。このように解釈するとき、加法的測度とは、ファジィ測度において、集合が独立である場合であると考えることができる。すなわち、ファジィ測度は加法的測度が拡張された測度である。

ファジィ測度は、数理的意志決定論への応用、いいかえれば、いくつかの選択肢のうち、どれを選択すべきかを数理的に決定する手段として用いられることが多い。すなわち、発生し得る状態と、ある状態が起きた時に、その選択肢を選んだ場合の利益を算定し、その利益を最大にするような選択肢を良とするのである。

選択肢の全体が全体集合であり、一つの選択肢に対する利益が集合関数である。二つの選択肢の和集合に対する利益は、二つの選択肢が相補的であることから各選択肢の利益の和より大きくなることもあり得るし、逆に相殺効果で小さくなることもあり得る。したがって、式(3.11)が成り立つ。ファジィ測度を、数理的意志決定論に適用するためにはファジィ測度だけでなく次節に示すファジィ積分も必要となる

## (2) ファジィ積分

ファジィ測度を各種問題に適用するためには、ファジィ測度だけでなくファジィ積分が必要になる。ファジィ積分は、ファジィ測度を利用することで、複数の属性を持つ集合の総合評価を得るための手法である。

ファジィ積分を実行するためには、対象のファジィ測度が得られていることが前提となる。たとえば、不動産価値は、立地条件、周辺環境、敷地面積等のように互いに重要度が異なる種々の基準があり、それらの総合評価としての不動産価格を通常の演算から求めることは困難である。ファジィ積分は、そのような総合評価をファジィ測度により求めようとする求積法である。ファジィ積分にはいくつかの手法が提唱されているが、本研究では代表的なファジィ積分

法であるものである、シヨケ積分(choquet integral)を採用するものとする。

シヨケ積分は各要素を測度によって重みづけし、各評価の和を求め総合評価を与える求積法である。シヨケ積分では、測度としてファジィ測度を用いるため測度に加法性が成り立たないことに注意が必要である。シヨケ積分の一般式は以下のように示される。

$$(c) \int_x f d\mu = \sum_{i=1}^n \mu(A_i)(t_i - t_{i-1}) \quad (3.12)$$

不動産価値を、(立地条件)、(敷地面積)、および(坪単価)で評価するものとし、ファジィ測度を以下のように定める。

$$\{(立地条件) (敷地面積) (坪単価)\}=1.0$$

$$\{(立地条件) (敷地面積)\}=0.9 \quad \{(立地条件) (坪単価)\}=0.8 \quad \{(敷地面積) (坪単価)\}=0.7$$

$$\{(立地条件)\}=0.5 \quad \{(敷地面積)\}=0.3 \quad \{(坪単価)\}=0.6$$

いま、各評価(グレード値)が、{(立地条件)}=0.7、{(敷地面積)}=0.5、{(坪単価)}=0.6 の物について評価を行うものとする。シヨケ積分では、{(立地条件) (敷地面積) (坪単価)}=1.0、{(立地条件) (坪単価)}=0.8、{(立地条件)}=0.5 を用いて以下のような計算が行われる。

$$\begin{aligned} (c) \int_x f d\mu &= \sum_{i=1}^n \mu(A_i)(t_i - t_{i-1}) \\ &= 1.0 \times 0.5 + 0.5 \times (0.6 - 0.5) + 0.5 \times (0.6 - 0.7) \\ &= 0.5 + 0.08 + 0.05 = 0.63 \end{aligned}$$

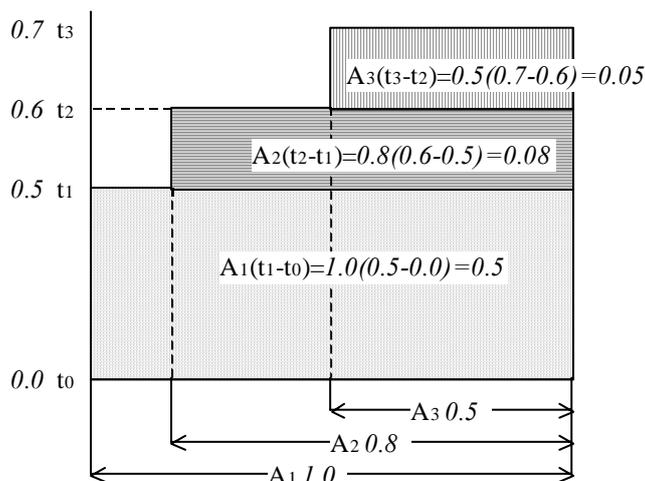


図-3.15 シヨケ積分

シヨケ積分は、求積法的一种であるから各測度毎の評価値面積の合計として総合評価が求められる。その概念を図-3.15 に示す。



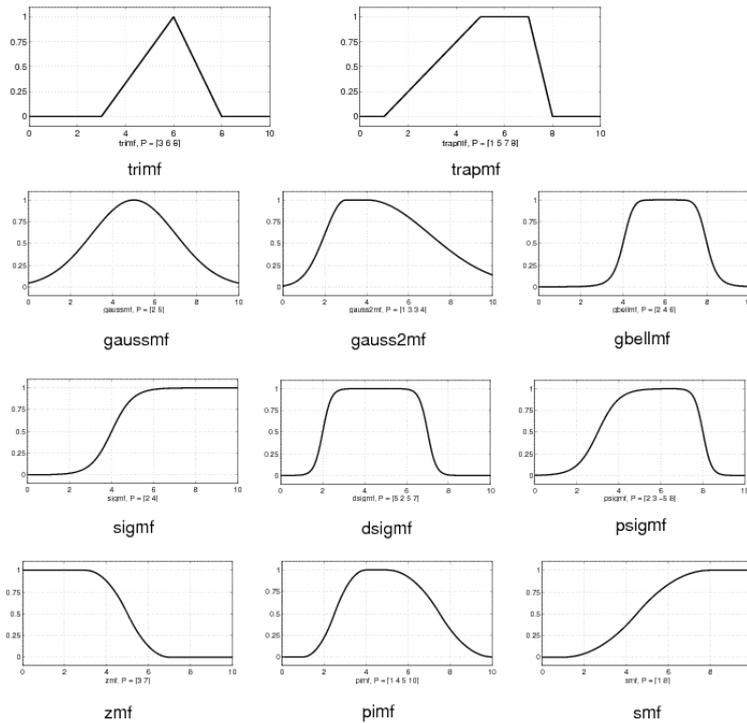


図-3.17 *\_Membership\_functions* に採用したメンバーシップ関数型

当然のことながら、上記の機能を DBMS に搭載しただけでは、各種データをあいま検索・処理することはできず、この問題に対してファジィデータ検索・処理機能を設計しなければならない。その基本的な設計手順は以下のようなものとなる。

- ① ファジィ集合の作成
- ② ファジィ推論則(ファジィルール)の作成
- ③ ファジィ推論
  - i) ファジィ集合のグレード計算
  - i) ファジィ推論結果の計算

いま、“湧水量が急増したときの地下水位の変化”を例に取り、ファジィ推論設計の概略を示すと、以下のようになる。まず、推論に用いる入力は湧水量と地下水位の 2 入力とし、出力を湧水量か地下水位かのいずれかが急変した期間の測定データとする。

次に、これらの入力をファジィ集合により表現する必要があるが、ここでは図-3.18 に示すように、これらの入力を PB(Positive big)、PS (Positive small)、ZO(Zero)、NS(Negative Small)、NB (Negative Big )の5つのファジィ集合で表現することとした。図に示すように、地下水位は特定水位からの偏差で、また湧水量についても常時流量からの偏差で評価することに注意が必要である。

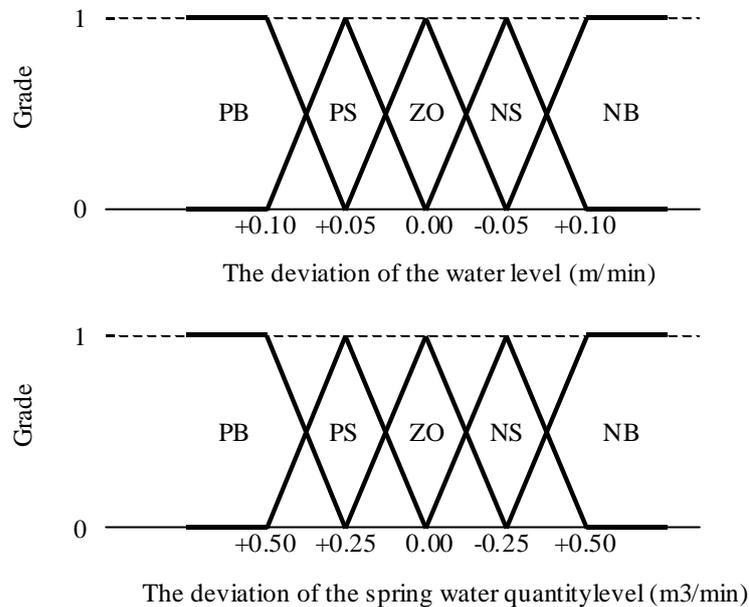


図-3.18 水位偏差と湧水量偏差のファジィ集合

このように定義したファジィ集合から、出力を湧水量か地下水位かのいずれかが急変した期間を特定するためには、急変開始時と急変終了時に関してもファジィ集合を作成しなければならないが、当該の問題については定常時と急変開始後で判断基準が異なるため、これを判別するフラッグ  $F(t)$  を設けることにする。すなわち、 $F(t)=0$  のとき定常状態にあることを、また  $F(t)=1$  のとき偏差が正の急変状態に、 $F(t)=-1$  のとき偏差が負の急変状態にあることを判別するフラッグである。このフラッグによって、いずれの推論を行うかが異なる。すなわち、定常状態から正(負)の急変状態に移行したか、急変状態から定常状態に移行したかの判断である。

これらのファジィ集合を用いて、推論則を作成する。たとえば、定常状態から正(負)の急変状態への判断を行うファジィ則、すなわち急変状態開始時を推定するためのファジィ則は、次のような25個のルールを作成することができる。

- IF(<“水位の偏差“が ZO> AND <“湧水量の偏差“が ZO> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が ZO> AND <“湧水量の偏差“が PS> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が ZO> AND <“湧水量の偏差“が NS> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が ZO> AND <“湧水量の偏差“が PB> THEN <正の急変状態>
- IF(<“水位の偏差“が ZO> AND <“湧水量の偏差“が NB> THEN <負の急変状態>
- IF(<“水位の偏差“が PS> AND <“湧水量の偏差“が ZO> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が PS> AND <“湧水量の偏差“が PS> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が PS> AND <“湧水量の偏差“が NS> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が PS> AND <“湧水量の偏差“が PB> THEN <正の急変状態>
- IF(<“水位の偏差“が PS> AND <“湧水量の偏差“が NB> THEN <負の急変状態>
- IF(<“水位の偏差“が NS> AND <“湧水量の偏差“が ZO> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が NS> AND <“湧水量の偏差“が PS> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が NS> AND <“湧水量の偏差“が NS> THEN <定常状態>
- IF(<“水位の偏差“が NS> AND <“湧水量の偏差“が PB> THEN <正の急変状態>

IF(<“水位の偏差“が NS> AND <”湧水量の偏差“が NB> THEN <定常状態>  
 IF(<“水位の偏差“が PB> AND <”湧水量の偏差“が ZO> THEN <正の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が PB> AND <”湧水量の偏差“が PS> THEN <正の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が PB> AND <”湧水量の偏差“が NS> THEN <正の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が PB> AND <”湧水量の偏差“が PB> THEN <正の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が PB> AND <”湧水量の偏差“が NB> THEN <正の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が NB> AND <”湧水量の偏差“が ZO> THEN <負の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が NB> AND <”湧水量の偏差“が PS> THEN <負の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が NB> AND <”湧水量の偏差“が NS> THEN <負の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が NB> AND <”湧水量の偏差“が PB> THEN <負の急変状態>  
 IF(<“水位の偏差“が NB> AND <”湧水量の偏差“が NB> THEN <負の急変状態>

ところが、これらのファジィ則の中には物理的にありえないルールが存在する。たとえば、<“水位の偏差“が PB> の場合、地下水水位は急激に上昇するのだから、地下水文学的には、突然、湧水が停止した場合にしか発生しない現象である。

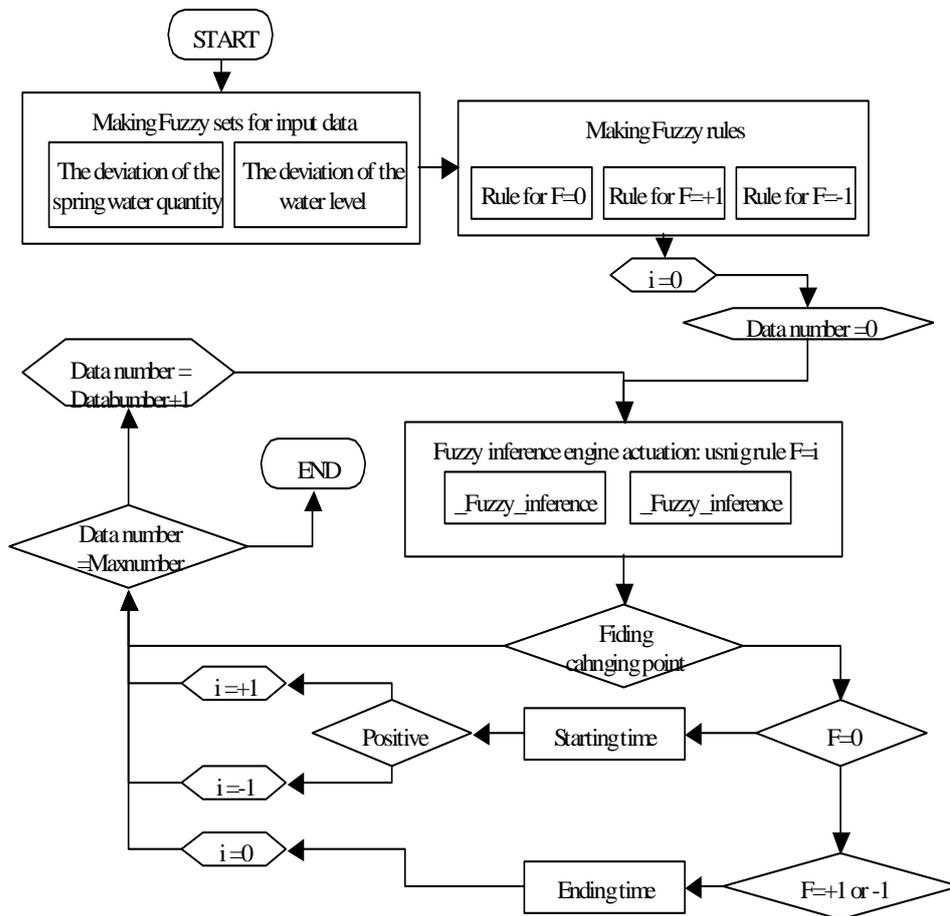


図-3.19 地下水水位・湧水量急変データ検索のフロー

したがって、この判断文と湧水量が急増する判断文<”湧水量の偏差“が PB>、もしくは<”湧水量の偏差“が PS>は対を成して成立することはない。しかしながら、ファジィ推論ではルールが破損し

でも推論が継続できるのと同様に、物理的にありえないルールを設定しても推論を継続することができる。また、このような場合、当該ルールに該当するファジィ集合がほぼ空集合に近く、ファジィ積分の過程でその影響はほぼ無視されるものと推定されるため、推定精度にもほとんど影響を及ぼさないものと考えられる。

このようにファジィ集合とファジィ則が定められるならば、3.2.3 節に示した要領でファジィ集合のグレードの計算し、これに基づいて 3.2.4 節のファジィ積分によりファジィ推論結果を計算すれば、急変状態開始時が推定される。急変終了時刻についても、どのような手順でファジィ推定を設計することができる。以上の、過程をフローとして図-3.19 に示す。

### 3.3.2 時間領域のファジィ集合化

一般的なビジネス情報システムや汎用的なデータベース(データベース管理システム)に供せられる時間領域は、通常、比較的短い時間スパンでサポートされ、各システム特有の限定的な範囲が定義されている。このような場合、日付やタイムスタンプ等には、代表的な時間データ形式(represent temporal data)が採用される。

しかしながら、これらのデータ型式では超長期に亘る時間領域を表現することはできず、またあいまいな時間概念を取り扱うこともできない。これは、時空間参照系が基本となる参照系であり、その時間データは広範囲に適用できるとともに、測定可能な系でなければならないためである。従来の GIS では、空間参照系と時間参照系のデータ形式が異なり、その互換性も確保されなかった。このため、データ情報の表現やデータアクセス等の上で制約が課され、システムの実行に障害が発生する。

ここでは、時間参照系と空間参照系を統合した4次元仮想時空間を構築することを目的として、時空間領域を無限実数の同型集合<sup>1</sup>として定義する。すなわち、

$$T = (R \cup \{-\infty, +\infty, undef\}) \tag{5.13}$$

ここで、 $R$  は実数集合を意味する。

さらに、時間構造を階層化するために、**図-3.20** に示すように相対時間参照系を絶対時間参照系の部分分割に写像し、さらに相対時間参照系も任意の時間間隔に分割することを考える。このように時間構造に従えば、時間分割  $s$  とその時間区切り  $t$  は次のように定義することができる。

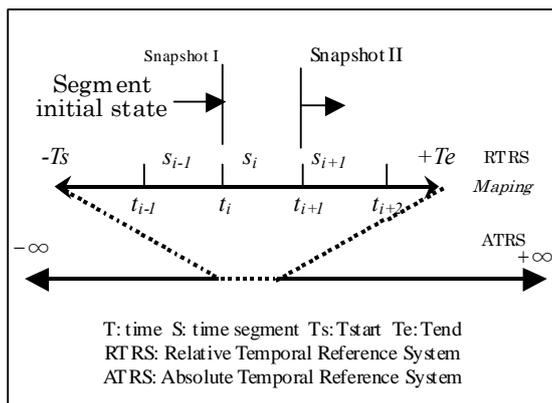


図-3.20 階層化された時間構造の概念図

<sup>1</sup> 準同型写像  $f$  が逆写像  $f^{-1}$  を持ち、なおかつ  $f^{-1}$  もまた準同型であるとき、 $f$  は同型写像あるいは単に同型であるという。 $f$  が同型ならば  $f^{-1}$  も同型である。ある数学的構造を持つ二つの集合  $A, B$  の間に準同型写像が存在するとき、 $A$  と  $B$  とは準同型であるといい、さらに同型写像が存在するとき同型であるという。互いに同型な集合はその構造に関しては同じものとみなすことができる。

$$\begin{aligned}
s &= [T_s, T_e] & T_s, T_e \in T \wedge T_s < T_e \\
t &= [T_s, T_e] & T_s, T_e \in T \wedge T_s = T_e
\end{aligned}
\tag{3.14}$$

大規模地下開発支援システムにおいては、前節に示したように DBMS 機能にファジィ演算機能を組み込んであるから、その時間概念に曖昧さの概念を導入するためには、式(3.14)をファジィ集合として定義すればよい。式(3.14)をファジィ集合化すると以下のような定義となる。

$$s_f = \tilde{A} \subseteq \mathbf{R} \quad \tilde{A} \text{ is a fuzzy interval} \tag{3.15}$$

$$t_f = \tilde{A} \subseteq \mathbf{R} \quad \tilde{A} \text{ is a fuzzy number}$$

このようにファジィ化して定義された時間分割 $s_f$ とその時間区切り $t_f$ れを、問題に応じて、適宜、**図-3.17** に示したメンバーシップ関数により具現化し、演算機能を組み合わせることで、あいまいな時間概念の導入が可能となる。

### 3.4 まとめ

本章では、平成18年度研究で構築した大規模地下開発支援システムに、柔軟な時間管理概念を導入することを目的として、あいまいな時間記憶をシステムソフト論的なアプローチによりデジタル時間データへと変換する手法に関する設計を行った。

本研究では、あいまい性を評価する手法として、ファジィ理論を採用し、3.2.1 節でその特徴を整理し、3.2.2～3.2.5 節においてその集合論、基本演算、ファジィ推論、ならびにファジィ積分の理論とその応用について整理した。

これをもとに、3.3.1 節ではファジィ演算機能を、大規模地下開発支援システムで採用したDBMS に組みこむ方法論と、これを作動させる構造についての設計を実施し、組み込み機能の実装を実施した。さらに、例題を通じてその作動機能の概要について説明を加えた。さらに、3.3.1 節では、当該システムの時間概念をファジィ化するための時間領域の再定義を実施した。ここでは、相対時間参照系を絶対時間参照系の部分分割に写像し、さらに相対時間参も任意の時間間隔に分割することで、時間領域構造を階層化した。さらに、その時間分割  $s$  とその時間区切り  $t$  をファジィ集合化することで、ファジィ理論の適用を可能とする手法を提案した。

本年度研究終了時点では、大規模地下開発支援システムデータ実装が未完なため、実データによる提案手法の検証は行えなかったが、モデルデータによるファジィ推論では合理的な推論が実施し得えており、その実用性は高いものと推測する。

#### 参考文献

- 1) Michael Stonebraker, Joseph M. Hellerstein: What Goes Around Comes Around, Readings in Database Systems, 4th Edition, The MIT Press, 2005.
- 2) M. Yuan: Temporal GIS and Spatio-Temporal Modeling, Proceedings of the 3rd International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, 1996.
- 3) 板倉賢一、佐藤稔紀、山地宏志: Web3D と RDBM を援用した大規模地下開発支援システムの開発報告書、平成 18 年度(財)日本建設情報総合センター研究助成報告書、2007.
- 4) ファジィ技術の新しい展開—ソフトコンピューティング: 財団法人 日本情報処理開発協会, AI・ファジィ振興センター (1994) pp. 12 - 13. より.

## 4. 静的データの処理・可視化機構(形状測定データを例として)

### 4.1 概説

本章では、瑞浪超深地層研究所立坑工事で測定された3次元レーザースキャナーによる形状測定データを、VMURL上で処理・合成・可視化する機構の設計と実装について説明を行う。

今日の地下空洞工事では、掘削後、可及的速やかに支保施工と覆工打設を行うことが、地山の安定性を確保する上で最も効果的な手段であるとされている。このため、掘削によって現れる地山壁面を観察するために与えられる時間は非常に短いものでしかなく、科学的・工学的要求に堪える精度で地山観察を行うことが困難な状況にある。

3次元レーザースキャナーによる空洞壁面形状の精密測定は、このような実務上の矛盾を解決し得るブレイク・スルーの一つであると考えられる。すなわち、精密に測定された形状座標とそれに付随する壁面RGB画像、ならびに壁面受光強度等をもとに、掘削直後の空洞壁面状況をVR(Virtual Reality)<sup>1</sup>技術等を援用してPC上に再現することが可能であるためである。再現された仮想の空洞壁面には幾何学情報や視覚情報等が接続されるから、断層や破砕帯等の走向・傾斜、空洞近傍の岩盤・地質分布、さらには地下水の賦存形態までも精査することができるものと期待される。また、現実の空洞壁面だけでなく、空洞全域が素掘り状態にある壁面形状や、平面展開された壁面画像等のように、実際にはありえない状況までも、データを加工することでPC上に構築することも可能である。

しかしながら、測定される壁面形状データは各掘削過程毎に独立するものであるため、データ相互間の整合性を確保し、これを工学的に意味あるデータとして加工・合成する処理が必要となる。すなわち、3次元レーザースキャナーにより得られた形状測定データから、所要の精度で空洞壁面形状を再現するとともに、これらを加工・合成し、地質精査に供することのできる性能と機能を設計・構築しなければならない。

ここでは、次節において3次元レーザースキャナーデータ処理機構に要求される性能と機能を整理し、実用に供することのできる機構の設計と実装を行う。

---

<sup>1</sup> コンピュータグラフィックスや音響効果を組み合わせて、人工的に現実感を作り出す技術

## 4.2 3次元レーザースキャナーデータ処理機構の要求性能と機能

### (1) システムの要求精度

瑞浪超深地層研究所主立坑工事における壁面形状測定では、円周方向に 6000 点、鉛直方向に 1500 点の測定が行われる。これは、壁面形状にもよるが、おおむね 3.5～6mm 間隔で形状測定が行われることとなる。この測定間隔は、巨視的な地質構造を把握・検討するには十分な精度と考えるが、壁面の微細構造を精査するには、若干、精度的に不足するようと思われる。

このため、測定された形状データは不要な箇所、たとえば上部の移動型枠形状や底盤形状等を除き、すべてをデータ処理の対象として取り扱うものとする。これは、測定精度と同等の精度で立坑壁面形状を再現することを目的としたものである。なお、これは再現精度のみを担保するものであり、測定精度を担保するものではない。なお、測定精度に関しては、別途、検証を実施するものとする。

### (2) 形状測定データの変換

3次元レーザースキャナーによる形状測定は、3次元レーザースキャナーを中心とする球座標系データを採取することで行われる。したがって、これを分析や描画に適した 3次元直交座標系、もしくは円筒座標系に変換する機能が必要となる。また、深度方向の合成、高速データ検索、ならびに高速描画処理が可能な形式に変換する機能も必要となる。このように、当該のシステムにおけるデータ変換は、単に座標変換のみでなくデータ再配列、データ容量圧縮、ならびに未計測部のデータ補間処理等をも包括するものである。

### (3) 形状測定データの合成

瑞浪超深地層研究所主立坑工事では、壁面形状測定がおおむね深度 2.4～2.6m掘削される毎に実施されるが、断層・破砕帯等の大規模な地質構造の詳細を、この範囲内だけで特定・把握することは難しい。特に当該地点では、大きな角度で主立坑と交差する断層の存在が予想されるため、立坑壁面に現れる断層の深度範囲は数十 m に及ぶ可能性もある。したがって、大規模な地質構造を分析するためには、測定された形状測定データを深度度方向に合成することが必要となる。

この合成範囲は一定に固定されるものではなく、地質精査の対象範囲によって、適宜、変化する。したがって、要求に応じ、柔軟かつ迅速な深度方向の合成が行われることが望ましい。このため、地質探査範囲を PC 上で指定し、この範囲にある壁面形状測定データを検索・抽出し、これらを合成・表示する機能が必要となる。

これは、計測された形状データをデータベース化<sup>2</sup> することにより可能であるものとする。

<sup>2</sup>複数のアプリケーションソフト、またはユーザによって共有されるデータの集合のこと。データの集まりを表の形で表現するリレーショナルデータベースが主流だが、近年では、データの集合を、手続きとデータを一体化したオブジェクトの集合として扱うオブジェクトデータベースが大規模システムなどで利用され始めている。

これまでに設計・開発した大規模地下開発支援システムの RDBM(Relational Data Base Management)<sup>3</sup> 機能を用いれば、これを構築することの技術的障壁は低いが、RDBM を利用した場合、その処理速度を確保することが難しい。ユーザーにとって快適な処理速度を実現するためには、独自のデータベース化と、その検索機構を設計することが望ましいものと判断した。これは、個別の形状測定データの容量が膨大であること、ならびに検索テーブルの構造が比較的単純な構造になると予想されるためである。

#### (4) 形状測定データの可視化

測定された壁面形状データを可視化することの目的は、壁面に現れた断層・破砕帯等の走向・傾斜、地質構造の幾何学的特性等を視認すること、ならびに岩種や地質の空間的広がりを確認すること等である。したがって、合成された壁面形状データを、正確で迅速、かつ所要の縮尺・寸法で 3 次元的に PC モニター上に表示することのできる機能が求められる。

また、壁面形状の可視化画像は、特定の壁面位置座標を取得や、各種地質データ検索のための参照画像としても用いられる。これは、マウスなどのポインティング・デバイスにより壁面の特定位置を PC モニター上で指定する操作を介して実行される。しかし、今日の 2 次元 PC モニターでは、3 次元画像の特定座標を正確に指定することが難しい。このため、立坑壁面を円周方向に 2 次元展開した画像を作成し、この 2 次元画像上で座標を指定することを考えた。

また、描画範囲は深度数百 m にも及ぶ大域描画から、数十 cm 四方の高精度描画までが想定される。一般に、大域描画や高精度描画は多大な処理時間を要するため、ユーザーに苦痛を与え、地質精査に多大な作業時間を要することとなる。このため、CPU 能力やメモリー資源を有効に活用し、いずれの描画範囲に対しても、可能な限り高速な描画性能が求められる。また、適宜の拡大・縮小操作に対して、滑らかで連続的な描画性能を併せ持つことが望ましい。

#### (5) データ解析とデータ検索

地質精査作業には、座標値の幾何学演算が重要である。たとえば、断層・破砕帯上の複数点座標からその走向・傾斜を算定することは、精密な地質構造モデルを作成する上で欠かせない。これは、壁面観察時のクリノメータ<sup>4</sup>測定を軽減する可能性もある。したがって、必要な点の座標を PC モニター上から取得する機能が必要となる。なお、実際の幾何学演算機能

<sup>3</sup> データ管理方式の一つ。また、その方式に基づいて設計されたデータベース。1970 年に IBM 社の Edgar F. Codd 氏によって提唱されたリレーショナルデータモデルの理論に従っている。1 件のデータを複数の項目(フィールド)の集合として表現し、データの集合をテーブルと呼ばれる表で表す方式。ID 番号や名前などのキーとなるデータを利用して、データの結合や抽出を容易に行うことができる。中小規模のデータベースでは最も一般的な方法。データベースの操作には SQL と呼ばれる言語を使うのが一般的

<sup>4</sup> 地層・断層などの面の向きを測るための道具。普通のコンパスと異なり、EとWが逆に表示される。また、気泡入りのカプセルは水準器で、本体を水平に保つために用いられ、地層面に走向板と呼ばれる金属製またはプラスチックの板を当てて使用する。

等は本年度業務の対象としない。

また、地質精査は壁面観察に基づいて行われるのではなく、地形図情報、ボーリングコア調査、岩石強度試験結果、湧水状況調査等の多角的な地質調査結果を相互に参照し行われねばならない。今日、これらの調査結果のほとんどは電子化されPC上からアクセスすることが可能である。しかしながら、その検索方法やデータ操作方法が整備されているとは言いがたく、必要に応じて異なるアプリケーションを起動し、データを呼び出すため、効率的な地質精査を行う環境にない。このため、当該システムでは地質精査を統合的に行うことのできるプラットフォームを作成することを目的として、壁面画像上から各種の地質調査データの検索・呼び出しを可能とする機能を設計するものとした。

### 4.3 3次元レーザースキャナーデータの変換・可視化機構の構造設計

#### 4.3.1 解析・可視化システムのフレームワーク

前節で整理した、3次元レーザースキャナーデータの変換・可視化システムに要求される機構や性能を実現するため、ここでは以下の構造を採用したシステムを設計する。

① 格子構造型へのデータ変換

高速のデータ検索を実現するために、測定領域を一定間隔の格子状に分割し、この格子それぞれにデータを割り付けるデータ変換を採用する。これにより、検索や各種演算処理のロジックが簡便化されるだけでなく、簡便な手続きでデータ検索が行えるため、大容量データの処理が高速化される。

② XML<sup>5</sup>を利用したデータのファイルシステム化

高速のデータ処理を実現するために、測定された形状データやその変換データ群をUNIXライクなファイルシステムとして取り扱い、その管理や検索はXMLにより実施する。一般に汎用的なデータベースシステムは、複雑な構造データに対しても検索や処理を可能とするが、多機能であるがために大容量のデータ処理にはデータ容量に比例した処理時間を要する。ところが、該システムに供されるデータ群の容量は膨大であるが、①のデータ変換によりその構造は単純なものとなる。このため、RDBMS(Relational Data Base Management)等のデータベースシステムを用いなくても、各種の検索・処理を効率的に行うことが可能であり、格段の高速処理が実現される。なお、Appendix\_BにXMLの基本的な仕様を示す。

また、当該システムに実装すべき機能は大きく次の4つである。

- a. 3次元レーザースキャナーデータの変換機能
- b. 変換データの登録機能
- c. データ検索・処理機能
- d. データ分析・解析機能
- e. 分析・解析結果の可視化機能
- f. 可視化処理機能(可視化プラットフォーム)

格子型データ構造とXMLによるファイルシステムを採用すると、これらの機能を実装するシステムのフレームワークは図-4.1のように模式化することが可能である。

<sup>5</sup>文書やデータの意味や構造を記述するためのマークアップ言語の一つ。マークアップ言語とは、「タグ」と呼ばれる特定の文字列で地の文に構造を埋め込んでいく言語のことで、XMLはユーザが独自のタグを指定できることから、マークアップ言語を作成するためのメタ言語とも言われる。

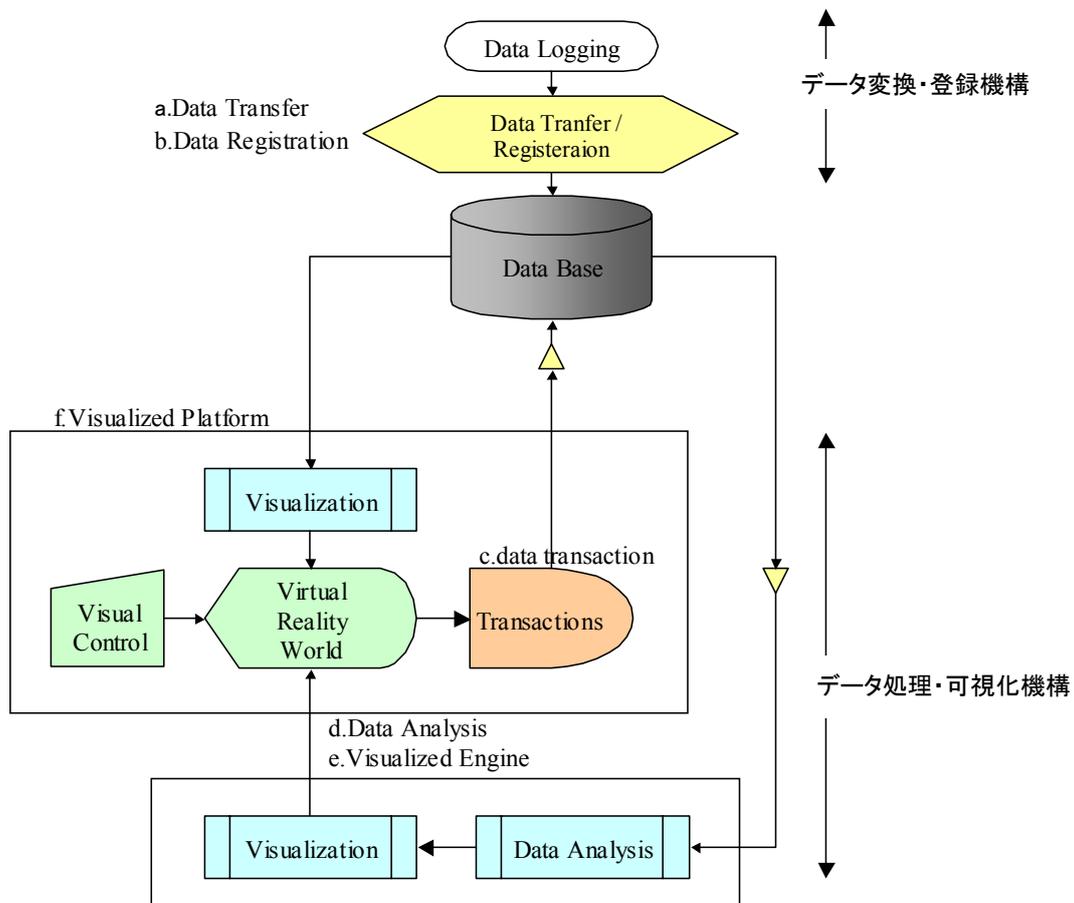


図-4.1 格子型構造とXMLを援用した3次元レーザースキャナーデータのデータ変換・可視化システム構成概念図

図-4.1 に示すように、データベースを挟んで上記の機能群は、3次元レーザースキャナーデータの変換/登録機能と、その他の機能で作業空間が異なる。このため、システム的设计に当たっては、3次元レーザースキャナーデータの変換/登録機能を実行する機構とその他の機能を実装するシステムを別途に設計・構築するものとした。当然のことながら、データ構造の継承等は統一の設計思想に基づいて実施する、なお、前者をLSDPS(Laser Scanner Data Converter)と、後者をLSDPS(Laser Data Processing system)と名付けるものとする。

以下、各機能群の具体的な機能を記述する。

#### 4. 3. 2 3次元レーザースキャナーデータの変換/登録機能

3次元レーザースキャナーデータの変換/登録機能は、与えられた形状測定データを、各種解析や描画に供することのできる形式に変換することを目的としたデータ処理である。また、登録とは単に変換されたデータを保存するだけでなく、データ検索に供することができるよう保存場所や保存形式等を記録する帳票を作成する機能をも含むものである。この帳票はXMLにより作成され、登録されたデータの目次となる。

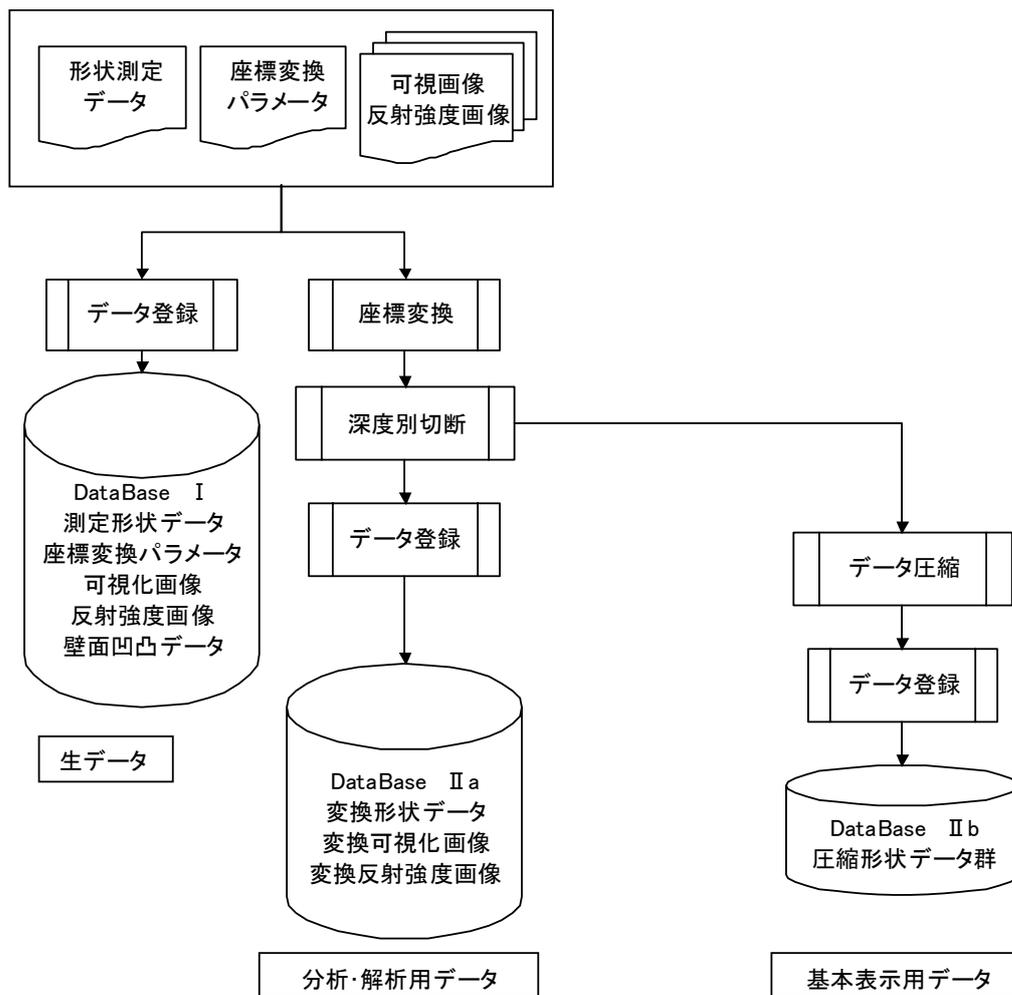


図-4.2 データ変換/登録過程の概略フロー図

図-4.2 に 3次元レーザースキャナーデータの変換/登録処理フローを示し、以下にその具体的な処理を記す。なお、図-4.2 では、測定された形状データと、その属性データ、ならびに座標変換パラメータが与えられているものとして、フローを作成しており、実際の LSDC における作業もこれを前提として実施されねばならない。

### (1)座標変換処理

レーザースキャナーで測定された 3 次元データや画像データ等は球座標系データとして取得される。したがって、2 次元、および 3 次元モデルとしてこれらを表示し、かつ種々の分析・解析に供するためには円筒座標、もしくは直交座標に変換せねばならない。ここでは、測定データとともに与えられる、座標変換パラメータ群に従った座標変換処理を実施する。また、形状測定の本データ、ならびに座標変換パラメータ群は図-4.2 中に示す DataBase I に格納するものとした。

### (2)壁面凹凸カラーマップの作成と各ステップの掘削ボリュームの計算

データ変換処理時に工学利用を目的として、掘削壁面の設計半径からの離れを計算し、これをレンジごとにカラーバンドで区分した壁面凹凸カラーマップの作成を行う。また、各ステップの掘削ボリューム計算も併せて実施する。

なお、壁面凹凸のカラーマップは可視化プラットフォームにおいて可視化できるようデータ圧縮と登録を行うものとする。

### (3)深度方向のデータ切断処理

一般に、測定された 3 次元データや画像データ等は鉛直方向に重複して測定されることが一般的である。すなわち、ある任意深度で測定された壁面形状上部は、その直前の形状測定では下部の形状として測定される。したがって、測定の相互で一部が重複することは避けられない。

この重複は、表示・分析に供する以前に処理される必要がある。ここでは、これらの重複を座標変換処理後に深度別に切断し、これを分析・解析に供するデータとして、図-4.2 中に示す DataBase II a に格納するものとした。

### (4)データ容量圧縮機能

前述のように、当該システムでは深度数百 m 範囲の大域描画から、数十 cm 四方の高精度描画までをスムーズに行わなければならない。高精度で測定された形状データを大域描画にそのまま用いた場合、処理速度や CPU 負荷の面などで問題が多いことは、当然、予想される。

そこで、要求される描画寸法・縮尺に応じてあらかじめデータを圧縮し、これを表示の拡大率にあわせた圧縮率で間引いたデータを、あらかじめ、図-4.2 中に示す DataBase II b 上に登録することで、軽快な表示を可能とすることを考えた。なお、圧縮方法の実際は 4 章において記述する。

### (5)データ登録処理

ここで構築するシステムは、3次元レーザースキャナーで測定された膨大な 3 次元形状デ

ータへの高速アクセスを可能とすることを目的として、擬似的な RDBM を設計することとした。このためには、変換された形状測定データを検索可能な形態で保存し、その保存先やデータ形式等を記録する帳票の作成が必要となる。

このような帳票には、マークアップ言語<sup>6</sup>を用いることが一般的であるが、その記述には若干の知識が必要であり、未習熟なユーザーには帳票作成のために余分な負荷を与えることとなる。このため、保存時に自動的に帳票作成を可能とする機構を考えることとする。

## (6) データベース群と補遺

この処理で過程において作成される DataBase 群のデータの種別は表-4.1 に示すものである。

表-4.1 データベース群の分類

DataBase	収納データ群	摘要
DataBase I	測定形状データ群、座標変換パラメータ群 測定可視化画像、測定反射強度データ	3次元レーザスキャナー測定データ (Source Data)
DataBase II a	変換形状データ、変換可視化画像 変換反射強度データ	座標変換・深度別切断済みデータ
DataBase II b	圧縮形状データ、圧縮可視化画像、 圧縮反射強度データ	高速表示用圧縮データ
DataBase III	壁面凹凸カラーマップ、 ステップ掘削ボリューム	工学的使用目的

<sup>6</sup> 文書の一部を「タグ」と呼ばれる特別な文字列で囲うことにより、文章の構造(見出しやハイパーリンクなど)や、修飾情報(文字の大きさや組版の状態など)を、文章中に記述していく記述言語。マークアップ言語を使用して書かれた文書はテキストファイルになるため、テキストエディタを使って人間が普通に読むことが可能で、編集も可能である。代表的なマークアップ言語としては、SGML(Standard Generalized Markup Language)、SGML から発展した HTML(HyperText Markup Language)、TeX などがある。

#### 4. 3. 3 データ解析/可視化処理機能の基本構造

3次元レーザースキャナーデータを用いた汎用的解析・可視化システムにおいては、3次元データと画像データ(可視画像, スケッチ画像, 反射強度画像等、壁面凹凸カラーマップ)の合成を深度方向とともに行い, 合成したデータを可視化するデータ解析/可視化機能が要求される。

ここで設計したシステムのフレームワークでは、データ変換されたデータをファイルシステムとして取り扱い XML で管理することで、擬似的なデータベース管理機能を構築した。したがって、3次元形状データ等の深度方向合成、ならびにデータ相互間の合成は、合成するデータ表示領域とデータ項目とを指定し、これに対応するデータをデータベース上で検索・抽出し、Web3D形式に変換し、作業プラットフォーム上のブラウザに描画することで実施されることとなる。

このために、データ変換登録時にデータ検索に適したデータ構造に変換するとともに、各測定データ間の整合性を確保し、データ呼び出しがそのままデータの深度方向合成を可能とするよう測定データの格子構造型データへの変換を考えた。すなわち、各測定ステップにおいて格子上下端において深度の連続性を確保すれば、測定データ相互間の整合性は常に確保される。

次節においては、格子構造型データ形式と XML を用いて、データ検索やデータの深度方向合成等を実行する機構について説明を行う。

#### 4.4 XMLによるファイルシステム化の実際

本節では、LSDPS、ならびに LSDS において使用されるファイル構成を整理し、格子構造型データ形式と XML を用いて、データ検索やデータの深度方向合成等を実行する機構を示す。図-4.3 は、LSDPS、ならびに LSDS の PC 記録装置内部における位置関係と、データ変換・登録時のファイルやデータ変換情報の流れを示したものである。

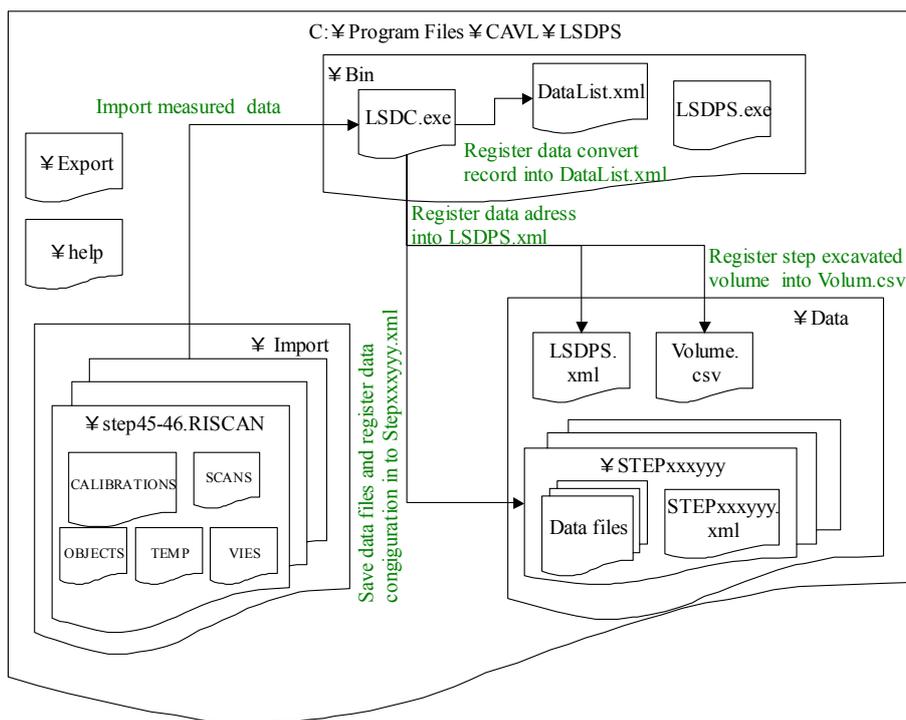


図-4.3 データファイルの位置関係とデータ変換・登録時の流れ

図-4.3 に示すように、3次元レーザスキャナーデータ処理・解析システム LSDPS とデータ変換システム LSDC、およびその実行に関連するファイルはすべて[c:\Program Files\CAVL\LSDPS]フォルダー内に格納される。このフォルダー内には[Bin]、[Import]、[Data]、[Export]、[Help]等のサブフォルダーがあり、それぞれ以下のようなファイルが保存される。

[Bin]: プログラム実行ファイルなどを保存するフォルダー。以下の、ファイルがある。

- LSDPSとLSDCの実行ファイル{LSDP.exe}と{LSDC.exe}、ならびにその関連ファイル
- データ変換履歴が記録されたデータ変換管理ファイル{DataList.xml}

[Import] : 形状測定データを格納するフォルダー。以下のフォルダーがある。

- 各形状測定プロジェクトごとの測定データをまとめたデータフォルダー。フォ

ルダ一名は測定プロジェクトにちなんで STEPxxxxyy と名付けられる。

[Data]:変換したデータを保存するフォルダー。以下のフォルダーとファイルがある。

- 変換したデータの相対的なアドレスを記録したプロジェクト管理ファイル {LSDPS.xml}
- LSDC によって変換されたデータ群を、測定ステップごとにまとめたフォルダー。フォルダ一名は測定プロジェクトにちなんで[STEPxxxxyy]と名付けられる。なお、各測定プロジェクトフォルダごとに、データ群の構成や内容を記述した、ステップ管理ファイル{STEPxxx.xml}が作成される。

[Export]:LSDPS で処理された解析結果のファイルが保存される。

[help] :HELP 内容が保存される。現在は未整備。

図-4.3 にしたがって、データ変換処理とこれに伴い作成されるデータファイルや XML ファイルの流れを以下に示す。データ変換プログラム{LSDC.exe}が実行されると、{LSDC.exe}は、[Import]から指定された形状測定データを読み込み、データ変換に関連する情報をデータ変換管理ファイル{DataList.xml}に書き込み、これを参照しつつデータ変換を実行する。

データ変換の進行に伴い、変換が終了したデータは[Data]内に作成される[STEPxxxxyy y]フォルダーに保存されるとともに、各変換データの構成や内容が[STEPxxxxyy]内のステップ管理ファイル{STEPxxxxyy.xml}に記録される。そして、すべてのデータ変換が終了すると、変換データの保存場所等を[Data]直下にあるプロジェクト管理ファイル{LSDPS.xml}に記録し、データ変換・登録処理は終了する。

3 次元レーザスキャナーデータ処理・解析プログラム{LSDPS.exe}は、以上のようにして作成されたプロジェクト管理ファイル {LSDPS.xml}、ならびにステップ管理ファイル {STEPxxxxyy.xml}を参照しつつデータの検索を実行する。以下、データ変換管理ファイル {DataList.xml}、プロジェクト管理ファイル {LSDPS.xml}、ならびにステップ管理ファイル {STEPxxxxyy.xml}の構造を示し、その機能を解説する。

#### 4. 4. 1 データ変換管理ファイル{DataList.xml}とデータ変換・登録処理

データ変換プログラム{LSDC.exe}は、測定された形状データを指定し、簡単な諸元を入力するだけで、一連の変換処理と、その登録・保存を一気通貫で実行する。このため、形状測定データの変換・登録状況を管理するデータ変換管理ファイル{DataList.xml}が[Bin]内に作成される。図-4.4 にデータ変換管理ファイル{DataList.xml}の構造を示す。

```
<?xml version="1.0" ?>
- <lsc>
- <parameter cposx="-69007.3749" cposy="6451.5767" el="200" diameter="7.3" cutrange="3">
  <savepath>C:\LSDPS\Data</savepath>
  <loadpath />
</parameter>
- <datalist datanumber="47">
  - <data id="0" name="Step43" cnv="0" minz="51.6" maxz="52.9">
    <datapath>C:\LSDPS\Import\Step43.RiSCAN\SCANS\ScanPos01
      \SINGLESCANS\Color_ScanPos01 - Scan01.3dd</datapath>
    <sop>-0.0132124456331874 0.999797004977376 -0.0152111839993268
      6451.66443183346 -0.999841853157905 -0.0133910827267099 -0.0117024603043765
      -69007.3324077316 -0.0119037789864885 0.0150541602780667 0.999815819190796
      148.3828637714 0 0 1</sop>
  </data>
  - <data id="1" name="step44" cnv="0" minz="52.9" maxz="54.2">
    <datapath>C:\LSDPS\Import\step44.RiSCAN\SCANS\ScanPos01
      \SINGLESCANS\Color_ScanPos01 - Scan01.3dd</datapath>
    <sop>-0.00514152428668057 0.999985736643472 -0.00144611120678059
      6451.61252765832 -0.999978270618282 -0.00514744180946269 -
      0.00411851114931828 -69007.4717696109 -0.00412589617881231
      0.00142490435857899 0.999990473268766 147.004344395854 0 0 1</sop>
  </data>
  - <data id="2" name="step45-46" cnv="0" minz="54.2" maxz="56.8">
    <datapath>C:\LSDPS\Import\step45-46.RiSCAN\SCANS\ScanPos01
      \SINGLESCANS\Color_ScanPos01 - Scan01 (2).3dd</datapath>
    <sop>0.0395022184928122 0.999205228433245 0.00533724702554974
      6451.57370050235 -0.999199816983389 0.0394673659954656 0.00648481007767068
      -69007.3964434664 0.00626900905323953 -0.00558914063569692
      0.999964729894232 144.479599283061 0 0 1</sop>
  </data>
```

図-4.4 データ変換管理ファイル{DataList.xml}

図-4.4 に示すように、データ登録管理ログ・ファイル DataList.xml は、<lsc>要素の下に、<parameter>要素と<datalist>要素の子要素を持ち、さらにその下位に要素が定義付けられる複合構造となっている。

<parameter>要素のタグ<sup>7</sup>には cposx=“立坑中心 x 座標”、cpusy=“立坑中心 y 座標”、el=“立坑掘削開始標高”、diameter=“設計掘削半径”、“および”cutrange=“不要データ削除範囲半径”の情報が埋め込まれている。これらのタグに現れるパラメータの詳細は次節 5.2.2 に記述する。また、<parameter>要素の下位要素<savepath>は変換後のデータを保存するフ

<sup>7</sup> タグとは“荷札”や“付箋”といった意味の英単語であるが、情報工学用語では“あらかじめ定められた特殊な記法により文書に埋め込む形で記述される付加情報”等の意味で用いられる。Web ページなどの記述に使われる HTML や XML では、元になる文書に“<>”で囲まれた標識を埋め込むことにより、表示ソフトに対して文書構造や書式、文字飾りなどを指示したり、画像や他の文書へのリンクを埋め込むことができる。このように、地の文とは別のレベルで解釈され(HTML の場合、文章を読むのは人間だがタグを解釈して表示に反映するのは Web ブラウザである)、付加情報を埋め込む特殊な文字列などのことをタグと言う。

フォルダー名を示す。

<datalist>要素のタグ datanumber=“データ個数”は、すでに変換が終了したデータ個数を示す。その下位要素<data>は、id=“ID 番号”、name=“形状変換プロジェクト名”、cnv=“データ変換フラッグ”、minz=“上限深度 UD”、maxz=“下限深度 LD”のタグを持つ。このなかで、データ変換フラッグは cnv=“はデータ変換が終了した形状測定プロジェクトに対し”1”、未変換の場合に”0”をとるフラッグである。

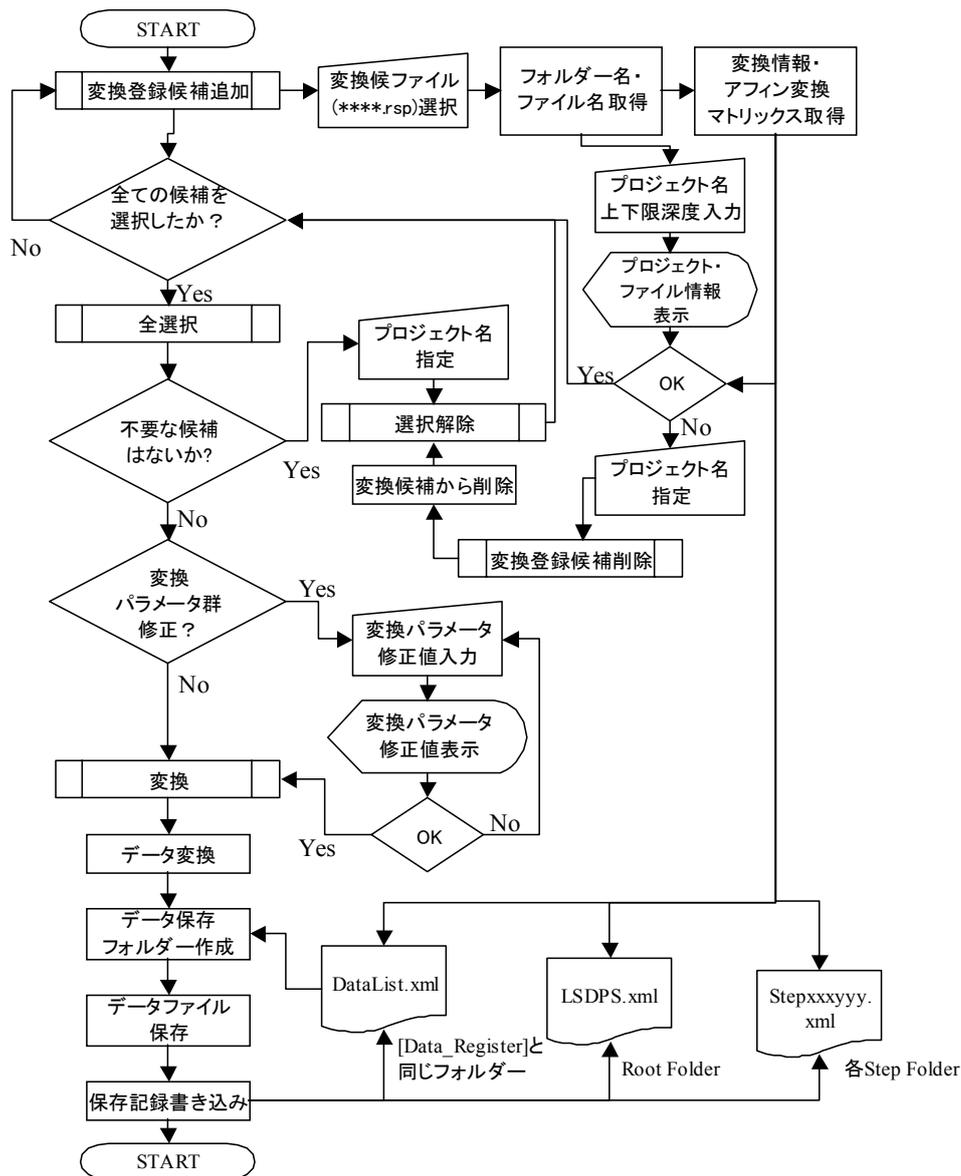


図-4.5 データ変換・登録・保存処理の流れ

さらに、<data>の下位要素<datapath>と<sop>は、それぞれ変換する形状測定データが保存されているパス名とアフィン変換マトリックス要素(16成分)の情報が埋め込まれている。この

データ登録管理ログ・ファイル DataList.xml を用いて、-4.5 のフローに従いデータ変換・登録作業が実施される。

#### 4. 4. 2 プロジェクト管理ファイルとステップ管理ファイルの構造

前述のように、当該システムでは、[Data]フォルダー直下のプロジェクト管理ファイル{LSDPS.xml}によって全形状測定プロジェクトを、また各 Step Folder 内のステップ管理ファイル{STEPxxxxyy.xml}により各プロジェクトの変換データファイルを管理するとともに、この2つのXMLファイルを利用して、指定された区間のデータを検索とその深度方向の合成を行う。以下では、この2つのXMLファイルの構造を示し、その機能の解説を行う。

##### (1)プロジェクト管理ファイル[LSDPS.xml]の構造

図-4.6 にプロジェクト管理ファイル{LSDPS.xml}の構造を示す。このファイルは、変換された形状測定プロジェクト・データが保存されたフォルダー名や測定深度等を管理するXMLファイルで、図-4.6 のように<lsdps>要素と<step>要素から構成される。

```
<?xml version="1.0" ?>
<lsdps cposx="-69007.3749" cposy="6451.5767" el="200.9" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">
  <step id="0" visible="0" left="180" top="51.6" bottom="52.9" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">Step43</step>
  <step id="1" visible="0" left="180" top="52.9" bottom="54.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step44</step>
  <step id="2" visible="0" left="180" top="54.2" bottom="56.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step45-46</step>
  <step id="3" visible="0" left="180" top="56.8" bottom="59.4" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step47-48</step>
  <step id="4" visible="0" left="180" top="59.4" bottom="62" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step49-50</step>
  <step id="5" visible="0" left="180" top="62" bottom="64.6" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step51-52</step>
  <step id="6" visible="0" left="180" top="64.6" bottom="67.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step53-54</step>
  <step id="7" visible="0" left="180" top="67.2" bottom="69.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step55-56</step>
  <step id="8" visible="0" left="180" top="69.8" bottom="72.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step57-58</step>
  <step id="9" visible="0" left="180" top="72.2" bottom="74.7" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step59-60</step>
  <step id="10" visible="0" left="180" top="74.7" bottom="77.1" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step61-62</step>
  <step id="11" visible="0" left="180" top="77.1" bottom="79.7" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step63-64</step>
  <step id="12" visible="0" left="180" top="79.7" bottom="82.3" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step65-66</step>
  <step id="13" visible="0" left="180" top="82.3" bottom="84.7" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step67-68</step>
  <step id="14" visible="0" left="180" top="84.7" bottom="87.1" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step69-70</step>
  <step id="15" visible="0" left="180" top="87.1" bottom="89.5" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step71-72</step>
  <step id="16" visible="0" left="180" top="89.5" bottom="91.9" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step73-74</step>
  <step id="17" visible="0" left="180" top="91.9" bottom="94.5" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step75-76</step>
  <step id="18" visible="0" left="180" top="94.5" bottom="96.6" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step77-78</step>
  <step id="19" visible="0" left="180" top="96.6" bottom="98.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step79-80</step>
  <step id="20" visible="0" left="180" top="98.8" bottom="100.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step81</step>
  <step id="21" visible="0" left="180" top="100.2" bottom="102.6" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step082-083</step>
  <step id="22" visible="0" left="180" top="102.6" bottom="105.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step084-085</step>
  <step id="23" visible="0" left="180" top="105.2" bottom="107.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step086-087</step>
  <step id="24" visible="0" left="180" top="107.8" bottom="110.4" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step088-089</step>
  <step id="25" visible="0" left="180" top="110.4" bottom="113" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step090-091</step>
  <step id="26" visible="0" left="180" top="113" bottom="115.6" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step092-093</step>
  <step id="27" visible="0" left="180" top="115.6" bottom="118.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step094-095</step>
  <step id="28" visible="0" left="180" top="118.2" bottom="120.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step096-097</step>
  <step id="29" visible="0" left="180" top="120.8" bottom="123.4" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step98-99</step>
  <step id="30" visible="0" left="180" top="123.4" bottom="126" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step100-101</step>
  <step id="31" visible="0" left="180" top="126" bottom="128.6" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step102-103</step>
  <step id="32" visible="0" left="180" top="128.6" bottom="131.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step104-105</step>
  <step id="33" visible="0" left="180" top="131.2" bottom="133.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step106-107</step>
  <step id="34" visible="0" left="180" top="133.8" bottom="136.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step108-109</step>
  <step id="35" visible="0" left="180" top="136.2" bottom="138.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step110-111</step>
  <step id="36" visible="0" left="180" top="138.8" bottom="141.4" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step112-113</step>
  <step id="37" visible="0" left="180" top="141.4" bottom="144" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step114-115</step>
  <step id="38" visible="0" left="180" top="144" bottom="146.6" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step116-117</step>
  <step id="39" visible="0" left="180" top="146.6" bottom="149.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step118-119</step>
  <step id="40" visible="0" left="180" top="151.8" bottom="154.4" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step122-123</step>
  <step id="41" visible="0" left="180" top="157" bottom="159.6" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step126-127</step>
  <step id="42" visible="0" left="180" top="159.6" bottom="162.2" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step128-129</step>
  <step id="43" visible="0" left="180" top="162.2" bottom="164.8" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step130-131no3</step>
  <step id="44" visible="0" left="180" top="164.8" bottom="167.4" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step132-133</step>
  <step id="45" visible="0" left="180" top="167.4" bottom="170" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step134-135</step>
  <step id="46" visible="0" left="180" top="170" bottom="172.4" mini="0" maxi="1600" cradius="3.65" crange="0.5">step136-137</step>
</lsdps>
```

図-4.6 プロジェクト管理ファイル LSDPS.xml の構造

<lsdps>要素は、瑞浪超深地層研究所立坑描画に関する基礎的情報を記したもので、それぞれ要素は以下のような意味を持つ。

cposx : 瑞浪超深地層研究所主立坑中央の x-座標(m)  
cposy : 瑞浪超深地層研究所主立坑中央の y-座標(m)  
el : 瑞浪超深地層研究所主立坑の掘削開始標高(m)  
mini : 受光強度表示時の最小受光強度(0-4095 階調)  
maxi : 受光強度表示時の最大受光強度(0-4095 階調)  
cradius : 瑞浪超深地層研究所主立坑の設計掘削半径(m)  
crange : 壁面凹凸カラーマップの表示範囲(m)

一方、<step>要素にはステップごとに、ID=“ID 番号”、Visible=“表示状態”、left=“データ左上の全体座標系における方角”、top=“データの上端位置”、bottom=“データの下端位置”、mini、maxi、cradius、crange の情報が埋め込まれている。

ここで、ID=“ ”は形状測定プロジェクトの ID 番号であり、測定データの存在しない step120-121,step124-125 についても連番で番号を割り振ることとした。また、Visible=“ ”は表示時に 1、非表示時に 0 をとるフラッグである。また、left=“ ”は座北をゼロとし、右回りにとった全体座標系における方角(degree)を示し、top=“ ”、および bottom=“ ”は、それぞれ各測定プロジェクトの上限深度 UD、下限深度 LD を正值形式で表した値である。

また、“< ”外のフォルダ名は当該形状測定プロジェクトに関連するデータが格納されているフォルダ名を、最後の</step>は一つの<ステップ>要素が終了したことを示すデリミタである。

## (2) ステップ管理ファイル[STEPxxxxyy.xml]の構造と機能

図-4.7 にステップ管理ファイル{STEPxxxxyy.xml}内の構造を示す。図に示されるように、当該 XML ファイルは<Band>要素、<LOD>要素、および <Tile>要素から構成され、Step Folder 内のデータ管理を行う。これらの、要素は階層構造となっており、<Band>要素の下位に<LOD>要素が、<LOD>要素の下位に<Tile>要素が位置する。

<Band>要素は、処理対象とするデータの属性を記述する要素で、それぞれのデータ種類ごとに存在する。ここには、Band ID=“ID 番号”、Name=“データ種類”、Visible=“表示状態フラッグ”、bits=“ビット数”のタグが埋め込まれている。ここで、Band ID=“ ”、Name=“ ”、bits=“ ”は、それぞれデータの種別を指定する ID 番号、データ種別名、および1測定点当たりのビット数を示し、データ種別ごとに以下のように指定した。

```

<?xml version="1.0" ?>
- <step>
- <band id="0" name="RGB" visible="0" bits="24">
- <lod value="0" tiles="16" width="6000" height="680">
  <tile id="0" width="1500" height="170">RGB_6000_0_0.bmp</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">RGB_6000_0_1.bmp</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">RGB_6000_0_2.bmp</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">RGB_6000_0_3.bmp</tile>
  <tile id="4" width="1500" height="170">RGB_6000_1_0.bmp</tile>
  <tile id="5" width="1500" height="170">RGB_6000_1_1.bmp</tile>
  <tile id="6" width="1500" height="170">RGB_6000_1_2.bmp</tile>
  <tile id="7" width="1500" height="170">RGB_6000_1_3.bmp</tile>
  <tile id="8" width="1500" height="170">RGB_6000_2_0.bmp</tile>
  <tile id="9" width="1500" height="170">RGB_6000_2_1.bmp</tile>
  <tile id="10" width="1500" height="170">RGB_6000_2_2.bmp</tile>
  <tile id="11" width="1500" height="170">RGB_6000_2_3.bmp</tile>
  <tile id="12" width="1500" height="170">RGB_6000_3_0.bmp</tile>
  <tile id="13" width="1500" height="170">RGB_6000_3_1.bmp</tile>
  <tile id="14" width="1500" height="170">RGB_6000_3_2.bmp</tile>
  <tile id="15" width="1500" height="170">RGB_6000_3_3.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="1" tiles="4" width="3000" height="340">
  <tile id="0" width="1500" height="170">RGB_3000_0_0.bmp</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">RGB_3000_0_1.bmp</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">RGB_3000_1_0.bmp</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">RGB_3000_1_1.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="2" tiles="1" width="1500" height="170">
  <tile id="0" width="1500" height="170">RGB_1500.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="3" tiles="1" width="750" height="85">
  <tile id="0" width="750" height="85">RGB_750.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="4" tiles="1" width="375" height="43">
  <tile id="0" width="375" height="43">RGB_375.bmp</tile>
</lod>
</band>
- <band id="1" name="INTENS" visible="0" bits="24">
- <lod value="0" tiles="16" width="6000" height="680">
  <tile id="0" width="1500" height="170">INTENS_6000_0_0.bmp</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">INTENS_6000_0_1.bmp</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">INTENS_6000_0_2.bmp</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">INTENS_6000_0_3.bmp</tile>
  <tile id="4" width="1500" height="170">INTENS_6000_1_0.bmp</tile>
  <tile id="5" width="1500" height="170">INTENS_6000_1_1.bmp</tile>
  <tile id="6" width="1500" height="170">INTENS_6000_1_2.bmp</tile>
  <tile id="7" width="1500" height="170">INTENS_6000_1_3.bmp</tile>
  <tile id="8" width="1500" height="170">INTENS_6000_2_0.bmp</tile>
  <tile id="9" width="1500" height="170">INTENS_6000_2_1.bmp</tile>
  <tile id="10" width="1500" height="170">INTENS_6000_2_2.bmp</tile>
  <tile id="11" width="1500" height="170">INTENS_6000_2_3.bmp</tile>
  <tile id="12" width="1500" height="170">INTENS_6000_3_0.bmp</tile>
  <tile id="13" width="1500" height="170">INTENS_6000_3_1.bmp</tile>
  <tile id="14" width="1500" height="170">INTENS_6000_3_2.bmp</tile>
  <tile id="15" width="1500" height="170">INTENS_6000_3_3.bmp</tile>
</lod>

```

図-4.7 ステップ管理ファイル{STEPxxxxyy.xml}の構造(その1)

```

- <lod value="1" tiles="4" width="3000" height="340">
  <tile id="0" width="1500" height="170">INTENS_3000_0_0.bmp</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">INTENS_3000_0_1.bmp</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">INTENS_3000_1_0.bmp</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">INTENS_3000_1_1.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="2" tiles="1" width="1500" height="170">
  <tile id="0" width="1500" height="170">INTENS_1500.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="3" tiles="1" width="750" height="85">
  <tile id="0" width="750" height="85">INTENS_750.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="4" tiles="1" width="375" height="43">
  <tile id="0" width="375" height="43">INTENS_375.bmp</tile>
</lod>
</band>
<band id="2" name="XYZ" visible="0" bits="48">
- <lod value="0" tiles="16" width="6000" height="680">
  <tile id="0" width="1500" height="170">XYZ_6000_0_0.bin</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">XYZ_6000_0_1.bin</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">XYZ_6000_0_2.bin</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">XYZ_6000_0_3.bin</tile>
  <tile id="4" width="1500" height="170">XYZ_6000_1_0.bin</tile>
  <tile id="5" width="1500" height="170">XYZ_6000_1_1.bin</tile>
  <tile id="6" width="1500" height="170">XYZ_6000_1_2.bin</tile>
  <tile id="7" width="1500" height="170">XYZ_6000_1_3.bin</tile>
  <tile id="8" width="1500" height="170">XYZ_6000_2_0.bin</tile>
  <tile id="9" width="1500" height="170">XYZ_6000_2_1.bin</tile>
  <tile id="10" width="1500" height="170">XYZ_6000_2_2.bin</tile>
  <tile id="11" width="1500" height="170">XYZ_6000_2_3.bin</tile>
  <tile id="12" width="1500" height="170">XYZ_6000_3_0.bin</tile>
  <tile id="13" width="1500" height="170">XYZ_6000_3_1.bin</tile>
  <tile id="14" width="1500" height="170">XYZ_6000_3_2.bin</tile>
  <tile id="15" width="1500" height="170">XYZ_6000_3_3.bin</tile>
</lod>
- <lod value="1" tiles="4" width="3000" height="340">
  <tile id="0" width="1500" height="170">XYZ_3000_0_0.bin</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">XYZ_3000_0_1.bin</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">XYZ_3000_1_0.bin</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">XYZ_3000_1_1.bin</tile>
</lod>
- <lod value="2" tiles="1" width="1500" height="170">
  <tile id="0" width="1500" height="170">XYZ_1500.bin</tile>
</lod>
- <lod value="3" tiles="1" width="750" height="85">
  <tile id="0" width="750" height="85">XYZ_750.bin</tile>
</lod>
- <lod value="4" tiles="1" width="375" height="43">
  <tile id="0" width="375" height="43">XYZ_375.bin</tile>
</lod>
</band>

```

図-4.7 ステップ管理ファイル{STEPxxxxxy.xml}の構造(その2)

```

- <band id="3" name="INTENS12" visible="0" bits="16">
- <lod value="0" tiles="16" width="6000" height="680">
  <tile id="0" width="1500" height="170">INTENS12_6000_0_0.bin</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">INTENS12_6000_0_1.bin</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">INTENS12_6000_0_2.bin</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">INTENS12_6000_0_3.bin</tile>
  <tile id="4" width="1500" height="170">INTENS12_6000_1_0.bin</tile>
  <tile id="5" width="1500" height="170">INTENS12_6000_1_1.bin</tile>
  <tile id="6" width="1500" height="170">INTENS12_6000_1_2.bin</tile>
  <tile id="7" width="1500" height="170">INTENS12_6000_1_3.bin</tile>
  <tile id="8" width="1500" height="170">INTENS12_6000_2_0.bin</tile>
  <tile id="9" width="1500" height="170">INTENS12_6000_2_1.bin</tile>
  <tile id="10" width="1500" height="170">INTENS12_6000_2_2.bin</tile>
  <tile id="11" width="1500" height="170">INTENS12_6000_2_3.bin</tile>
  <tile id="12" width="1500" height="170">INTENS12_6000_3_0.bin</tile>
  <tile id="13" width="1500" height="170">INTENS12_6000_3_1.bin</tile>
  <tile id="14" width="1500" height="170">INTENS12_6000_3_2.bin</tile>
  <tile id="15" width="1500" height="170">INTENS12_6000_3_3.bin</tile>
</lod>
- <lod value="1" tiles="4" width="3000" height="340">
  <tile id="0" width="1500" height="170">INTENS12_3000_0_0.bin</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">INTENS12_3000_0_1.bin</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">INTENS12_3000_1_0.bin</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">INTENS12_3000_1_1.bin</tile>
</lod>
- <lod value="2" tiles="1" width="1500" height="170">
  <tile id="0" width="1500" height="170">INTENS12_1500.bin</tile>
</lod>
- <lod value="3" tiles="1" width="750" height="85">
  <tile id="0" width="750" height="85">INTENS12_750.bin</tile>
</lod>
- <lod value="4" tiles="1" width="375" height="43">
  <tile id="0" width="375" height="43">INTENS12_375.bin</tile>
</lod>
</band>
- <band id="4" name="WIM" visible="0" bits="24">
- <lod value="0" tiles="16" width="6000" height="680">
  <tile id="0" width="1500" height="170">WIM_6000_0_0.bmp</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">WIM_6000_0_1.bmp</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">WIM_6000_0_2.bmp</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">WIM_6000_0_3.bmp</tile>
  <tile id="4" width="1500" height="170">WIM_6000_1_0.bmp</tile>
  <tile id="5" width="1500" height="170">WIM_6000_1_1.bmp</tile>
  <tile id="6" width="1500" height="170">WIM_6000_1_2.bmp</tile>
  <tile id="7" width="1500" height="170">WIM_6000_1_3.bmp</tile>
  <tile id="8" width="1500" height="170">WIM_6000_2_0.bmp</tile>
  <tile id="9" width="1500" height="170">WIM_6000_2_1.bmp</tile>
  <tile id="10" width="1500" height="170">WIM_6000_2_2.bmp</tile>
  <tile id="11" width="1500" height="170">WIM_6000_2_3.bmp</tile>
  <tile id="12" width="1500" height="170">WIM_6000_3_0.bmp</tile>
  <tile id="13" width="1500" height="170">WIM_6000_3_1.bmp</tile>
  <tile id="14" width="1500" height="170">WIM_6000_3_2.bmp</tile>
  <tile id="15" width="1500" height="170">WIM_6000_3_3.bmp</tile>
</lod>

```

図-4.7 ステップ管理ファイル{STEPxxxxxx.xml}の構造(その3)

```

</lod>
- <lod value="1" tiles="4" width="3000" height="340">
  <tile id="0" width="1500" height="170">WIM_3000_0_0.bmp</tile>
  <tile id="1" width="1500" height="170">WIM_3000_0_1.bmp</tile>
  <tile id="2" width="1500" height="170">WIM_3000_1_0.bmp</tile>
  <tile id="3" width="1500" height="170">WIM_3000_1_1.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="2" tiles="1" width="1500" height="170">
  <tile id="0" width="1500" height="170">WIM_1500.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="3" tiles="1" width="750" height="85">
  <tile id="0" width="750" height="85">WIM_750.bmp</tile>
</lod>
- <lod value="4" tiles="1" width="375" height="43">
  <tile id="0" width="375" height="43">WIM_375.bmp</tile>
</lod>
</band>
</band id="5" name="AVS" visible="0" bits="96">
- <lod value="0" tiles="1" width="6000" height="680">
  <tile id="0" width="6000" height="680">AVS.bin</tile>
</lod>
</band>
</step>

```

図-4.7 ステップ管理ファイル{STEPxxxxxx.xml}の構造(その4)

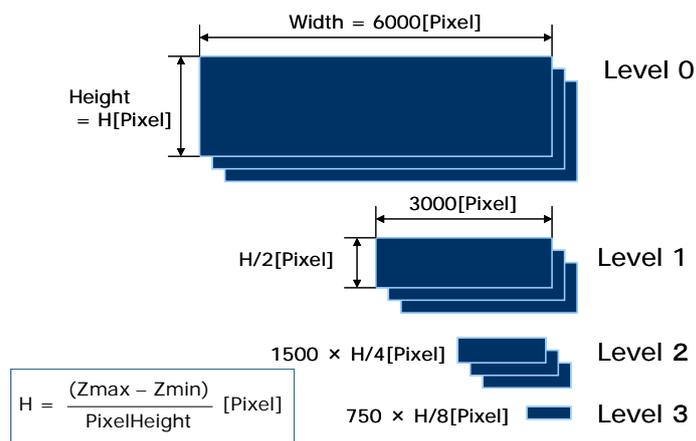


図-4.8 データの圧縮段階とそのピクセル数

壁面 RGB 画像	Band ID="0" Name="RGB"	bits="24"
表示用壁面受光強度画像	Band ID="1" Name="INTENS"	bits="08"
壁面座標データ	Band ID="2" Name="XYZ"	bits="48"
壁面受光強度データ	Band ID="3" Name="INTENS12"	bits="16"
壁面凹凸カラーマップ画像	Band ID="4" Name="WIM2"	bits="24"

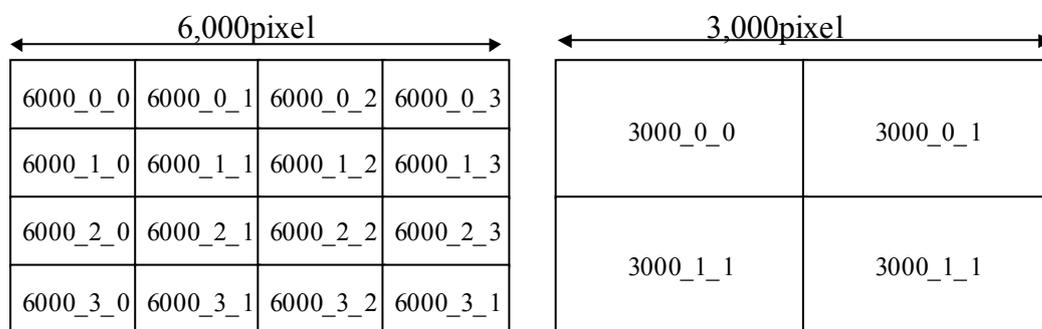
なお、Visible=" "は表示時に 1、非表示時に 0 をとるフラグである。

<Band>要素の下位にある<LOD>要素は、Level Of Detail を略したもので、データの圧縮率に関する情報が格納される。当該システムでは、高速描画を可能とするため表示対象領域の大きさに合わせて壁面 RGB データ、壁面受光強度データ、ならびに壁面座標データを図-4.8 のように 4 段階に圧縮して保存するものとした。<LOD>要素はこの圧縮率に対応した情

報を与えるものである。

ここでは、value=“分割レベル”、tiles=“タイル数”、width=“ピクセル数”、height=“ピクセル数”のタグが埋め込まれている。このうち、LOD value=“ ”、width=“ ”、height=“ ”は、Bandによらず次の組をなす。

Level\_0 : value=“0” width=“6000” height=“6000/pixel\_height”  
 Level\_1 : value=“1” width=“3000” height=“3000/pixel\_height”  
 Level\_3 : value=“2” width=“1500” height=“1500/pixel\_height”  
 Level\_4 : value=“3” width=“0750” height=“0750/pixel\_height”



(a)level\_0 のタイル分割

(b)level\_1 のタイル分割

図-4.9 データファイルのタイル分割

また、tiles=“ ”は各圧縮レベルにおけるデータ保存時の分割タイル数を示す。ここでタイルとは以下のような概念を意味する。すなわち、圧縮レベルが低いデータを1つのファイルとして保存すると、ファイルサイズが膨大となり、読み込みや深度方向の合成に多大な処理時間を要するため、いくつかのファイルに分割して保存を行うこととした。このように分割されたデータの構成単位をタイルと呼び、その分割数をタイル数と呼ぶ。

実際には、図-4.9のようにlevel\_0とlevel\_1の圧縮率のデータのみがタイル分割される。これらの圧縮率を持つデータは詳細な地質精査のために利用されることが予想され、大きな拡大率での描画が行われるものと考えられた。このため、1つの形状測定プロジェクトを細分化し、必要な箇所のデータだけを読み込むことのできるファイル形式にすることで、大幅な処理の迅速化を期待した。なお、タイル分割されたデータは図-4.9のように番地付けされる。

<タイル>要素はこの分割したファイルを指定するための要素で、ID=“タイル ID”とファイル名の情報が埋め込まれる。ID=“ ”はタイルの番地を指定するID番号であり、図-4.9の右上から左に順次ID番号が振り当てられる。また、ファイル名はそのタイル番地に対応するデータのファイル名を示す。以下に、各圧縮レベルにおけるID=“ ”とデータファイル名の対応の一覧を示す。

level\_0 の Tile ID とファイル名の関係

<Tile ID="0">    DataType\_6000\_0\_0.snm  
<Tile ID="1">    DataType\_6000\_0\_1.snm  
<Tile ID="2">    DataType\_6000\_0\_2.snm  
<Tile ID="3">    DataType\_6000\_0\_3.snm  
<Tile ID="4">    DataType\_6000\_1\_0.snm  
<Tile ID="5">    DataType\_6000\_1\_1.snm  
<Tile ID="6">    DataType\_6000\_1\_2.snm  
<Tile ID="7">    DataType\_6000\_1\_3.snm  
<Tile ID="8">    DataType\_6000\_2\_0.snm  
<Tile ID="9">    DataType\_6000\_2\_1.snm  
<Tile ID="10">    DataType\_6000\_2\_2.snm  
<Tile ID="11">    DataType\_6000\_2\_3.snm  
<Tile ID="12">    DataType\_6000\_3\_0.snm  
<Tile ID="13">    DataType\_6000\_3\_1.snm  
<Tile ID="14">    DataType\_6000\_3\_2.snm  
<Tile ID="15">    DataType\_6000\_3\_3.snm

level\_1 の Tile ID とファイル名の関係

<Tile ID="0">    DataType\_3000\_0\_0.snm  
<Tile ID="1">    DataType\_3000\_0\_1.snm  
<Tile ID="2">    DataType\_3000\_0\_2.snm  
<Tile ID="3">    DataType\_3000\_0\_3.snm

level\_2 の Tile ID とファイル名の関係

<Tile ID="0">    DataType\_1500.snm

level\_3 の Tile ID とファイル名の関係

<Tile ID="0">    DataType\_750.snm

ここで、"DataType"と".snm"はデータの種類によって異なるファイル名の接頭名とセカンダリ・ネームを示す。DataType は壁面スケッチデータに対して"sketch"を、壁面 RGB データでは"RGB"、壁面受光強度データでは"INTENS"、さらに壁面座標データには"XYZ"が与えられる。また、".snm"は壁面スケッチデータに対して".dxf"、壁面 RGB データと壁面受光強度データでは".bmp"、壁面座標データには".bin"が与えられる。

#### 4. 4. 3 形状測定データ検索・深度方向合成処理の機構

前節の変換データ保存・登録時に作成したプロジェクト管理ファイル{LSDPS.xml}、ならびにステップ管理ファイル{STEPxxxyyy.xml}を用いた形状測定データ検索と深度方向合成の流れを図-4.10 に示す。

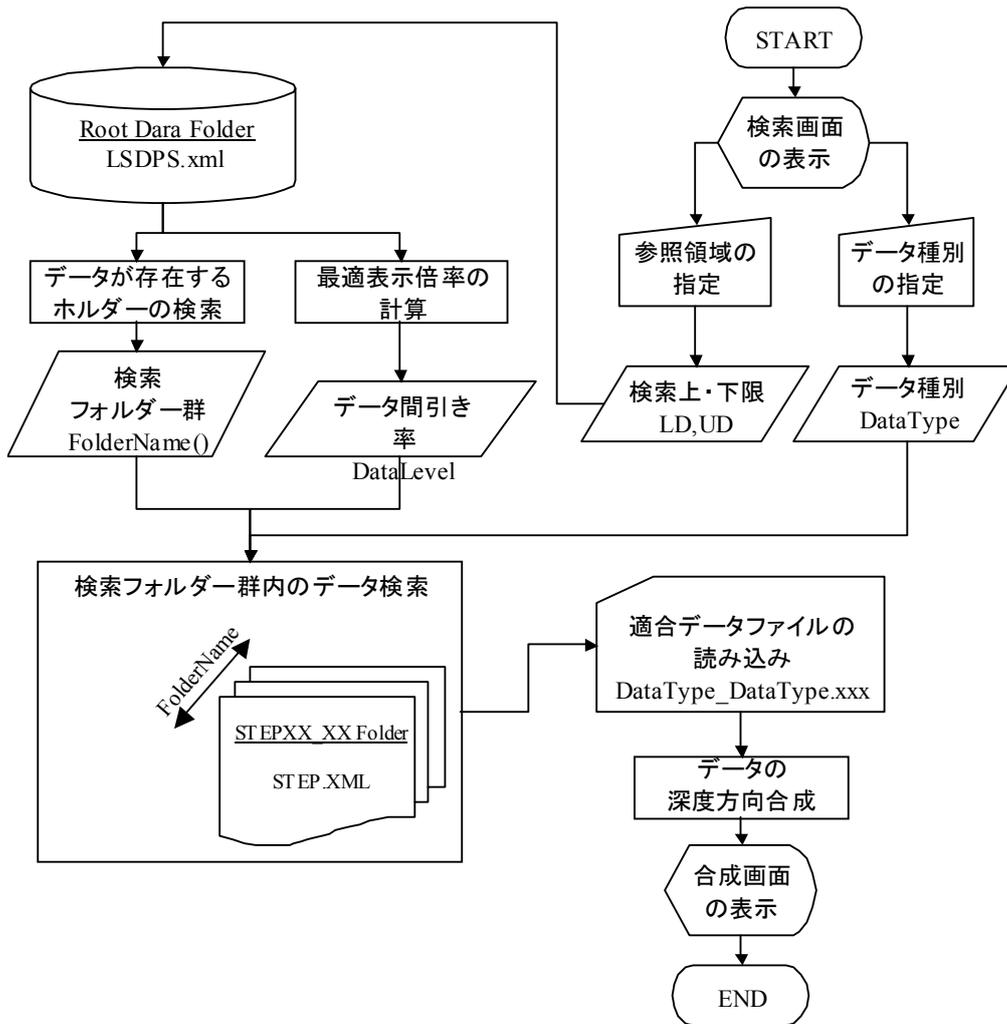


図-4.10 形状測定データ検索と深度方向の合成の基本的な考え方

図-4.10 に示すように、当該システムでは、まず検索画面上でマウス等のポインティング・デバイスを用いて地質精査や表示に供する参照領域と使用するデータの種別 *DataType* を指定する。ここで対象とするデータの種別としては、壁面スケッチデータ、壁面 RGB データ、壁面受光強度、および壁面座標データの 5 種である。

次に、参照領域からその上限深度 *UD* と下限深度 *LD* を検出し、プロジェクト管理ファイル {LSDPS.xml} から、この範囲にある形状測定プロジェクトのデータが保存されている Step

Folder 名群 FolderName( )を選定する。また、同時に、参照領域寸法の表示に最も適したデータ圧縮率 DataLevel も決定する。なお、圧縮率 DataLevel は 4.4.2 節で示した 4 段階の圧縮率のうちから選定するものとする。したがって、プロジェクト管理ファイル{LSDPS.xml}は上限深度 UD と下限深度 LD からこれと関連するデータ・フォルダ一群を検出するとともに、最適な圧縮率を決定することができる情報が格納されていない。

さらに、このようにして決定された Step Folder 名群 FolderName( )のなかで、データ種類 DataType と間引き率 DataLevel に適合するファイルを、各 Step Folder に格納されているステップ管理ファイル STEPxxxxyy.xml を参照して検索し、そのファイルのデータを読み込む。このとき、Step Folder へは上限深度 LD から下限深度 UD に向けて深度順にアクセスするものとした。したがって、ステップ管理ファイル{STEPxxxxyy.xml}にはデータ種類 DataType と圧縮率 DataLevel に適合するファイル名を与える情報が格納されていない。

最後に、呼び込まれたデータを深度方向に合成し、その結果をモニター画面上に表示する。ここで、データの検索が上限深度 LD から下限深度 UD に向けて深度順に行われ、検索されたデータは深度切断で上下の連続性が保たれるよう切断されているから、読み込まれたデータを、逐次、メモリー上に書き込んでいだけで深度方向の合成が行えることとなる。

#### 4. 5 データ変換の実際

##### 4. 5. 1 3次元レーザースキャナーデータ変換作業の流れ

上記の3次元レーザースキャナーデータ処理に関する基本的な考え方を基に、測定された形状データを変換する流れを図-4.11に示す。

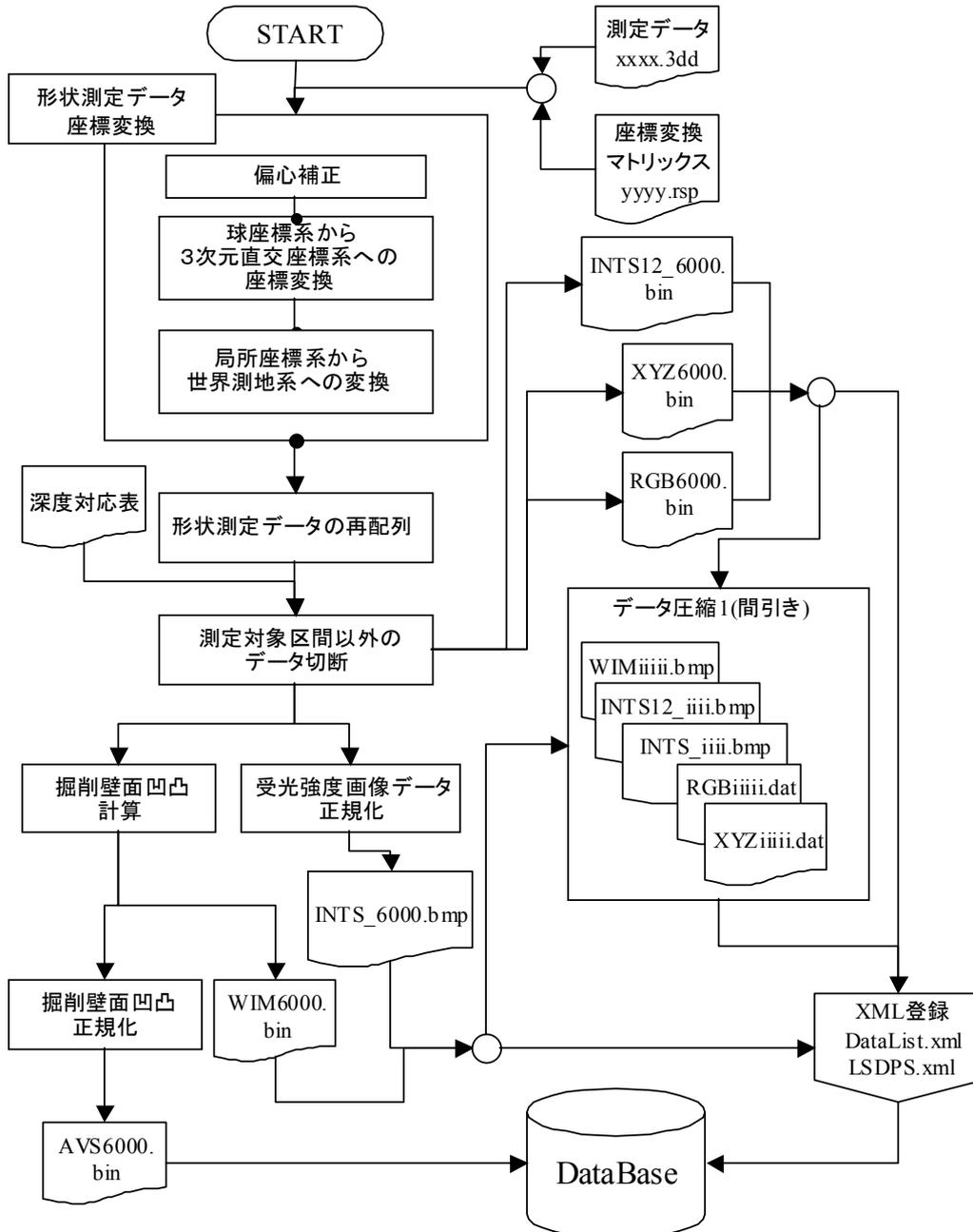


図-4.11 3次元レーザースキャナーデータ変換作業の流れ

図に示すように、3次元レーザースキャナーデータ変換作業は、①測定データ座標変換、②測定データ再配列、③測定対象区間以外のデータ切断、④掘削壁面凹凸計算とその正規化、⑤受光強度データの正規化、ならびに⑥これらのデータの圧縮(間引き・軽量化)と⑦データベースへのデータ登録の7つの処理過程からなる。

これらの処理過程で行われる処理は以下のようなものである。

#### (測定データ座標変換)

ここで、形状測定データの座標変換は1)偏心補正、2)球座標系から直交座標系への座標変換、3)局所座標系から全体座標系への変換の3つの座標変換を実施する。なお、この座標変換に供するデータは測定データ(XXXX.3dd)、ならびにこれに付随する座標変換パラメータ(YYYY.rsp)の2つであり、測定時に作成される。

#### (測定データ再配列)

測定データ再配列は、全体座標系に変換された形状測定データと、これに付随するRGBデータ、ならびに受光強度データを、正規化された一定間隔の格子状要素に割り付ける。これは、各種解析処理や表示の高速化を目的としたものであり、RGBデータについてはデータが欠落する要素の補間も行う。その詳細を次節(2)に示す。

#### (測定対象区間以外のデータ切断)

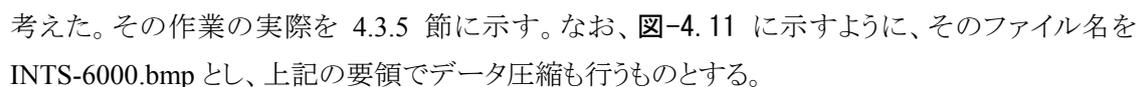
また、各測定データにおいて測定対象外となる上下部のデータを、前述の深度対応表に従って切断する処理を行う。以下、この処理を深度切断と呼び、(3)にその具体的な作業法を示す。

#### (掘削壁面凹凸計算とその正規化)

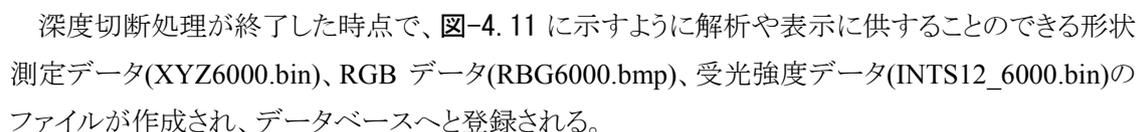
当該の処理は工学的利用を目的としたものであり、覆工コンクリート打設数量の算定や、スミーズプラスティングの効果検証等を目的として、以下の2つの演算処理を実施するものである。ひとつは、各ステップにおける掘削ボリュームを3次元レーザースキャナーデータから算定する演算であり、もうひとつは設計掘削半径からの離れをカラーマップとして表示するものである。

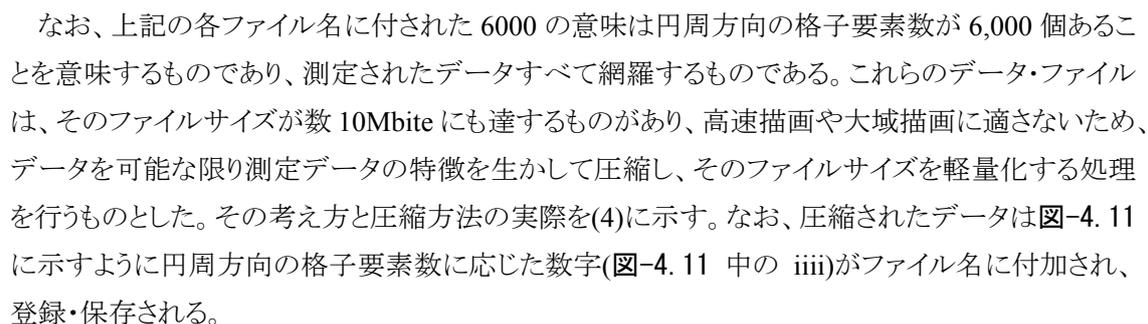
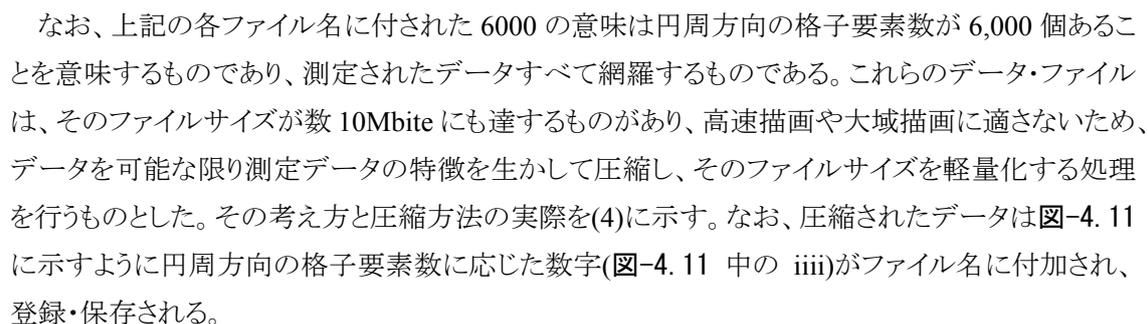
#### (受光強度データの正規化)

深度切断時に作成される受光強度データは、12ビットの4,095階調(0~4,094)グレースケール画像として与えられる。ところが、瑞浪超深地層研究所主立坑工事において、これまで測定された受光強度データのほとんどは(960~1,440)の範囲にある。このため、グレースケール画像として見たとき、画面全体が黒基調となり、岩種間の優位な差を画像から判断することが難しかった。当該システムでは、INTS12\_6000.bitの任意のデータ範囲を正規化することで、データ間の差異を強調したグレースケール画像を作成し、これを8bitのBitmapデータとしてファイル保存することを

考えた。その作業の実際を 4.3.5 節に示す。なお、-4.11 に示すように、そのファイル名を INTS-6000.bmp とし、上記の要領でデータ圧縮も行うものとする。

(データの圧縮(間引き・軽量化))

深度切断処理が終了した時点で、-4.11 に示すように解析や表示に供することのできる形状測定データ(XYZ6000.bin)、RGB データ(RBG6000.bmp)、受光強度データ(INTS12\_6000.bin)のファイルが作成され、データベースへと登録される。

なお、上記の各ファイル名に付された 6000 の意味は円周方向の格子要素数が 6,000 個あることを意味するものであり、測定されたデータすべて網羅するものである。これらのデータ・ファイルは、そのファイルサイズが数 10Mbite にも達するものがあり、高速描画や大域描画に適さないため、データを可能な限り測定データの特徴を生かして圧縮し、そのファイルサイズを軽量化する処理を行うものとした。その考え方と圧縮方法の実際を(4)に示す。なお、圧縮されたデータは-4.11 に示すように円周方向の格子要素数に応じた数字(-4.11 中の iiiii)がファイル名に付加され、登録・保存される。

(データベースへのデータ登録)

以上のように変換・処理されたデータ群を、高速アクセス・描画を可能とするように最適な配置でデータベース上に登録する。これは、2.3 節に示した XML ファイルを作成する過程である。

#### 4. 5. 2 測定データの再配列

図-4.12は3次元レーザースキャナーによる立坑壁面形状測定の基本精度特性を概念的に示したものである。図に示すように、3次元レーザースキャナー測定ではレーザー射出高さと同じ高さ付近では高密度なスキニングが実施されるのに対し、レーザー射出高さから離れるに従いスキニング密度が低下する。これは、形状測定間隔が大きくなることと同意である。

3次元レーザースキャナーは一定の水平・鉛直角度間隔で形状測定を行うため、平滑な円柱面を測定したとしても鉛直方向に測定精度のばらつきが不可避免的に発生する。このことは、Point Cloud 法のような3次元形状描画を行う上では特に問題となることはないが、壁面展開図や3次元形状上に各種データを貼り付ける際に種々の問題が発生する。また、直交座標系、もしくは円筒座標系において測定間隔が不揃いなデータをそのまま保存すると、データ保存形式が複雑となるため、データ読み込み、データ演算・処理を著しく遅延させる可能性が高い。このため、形状測定データを一定間隔の格子メッシュに割り付け、これを基礎データとして保存することを考えた。

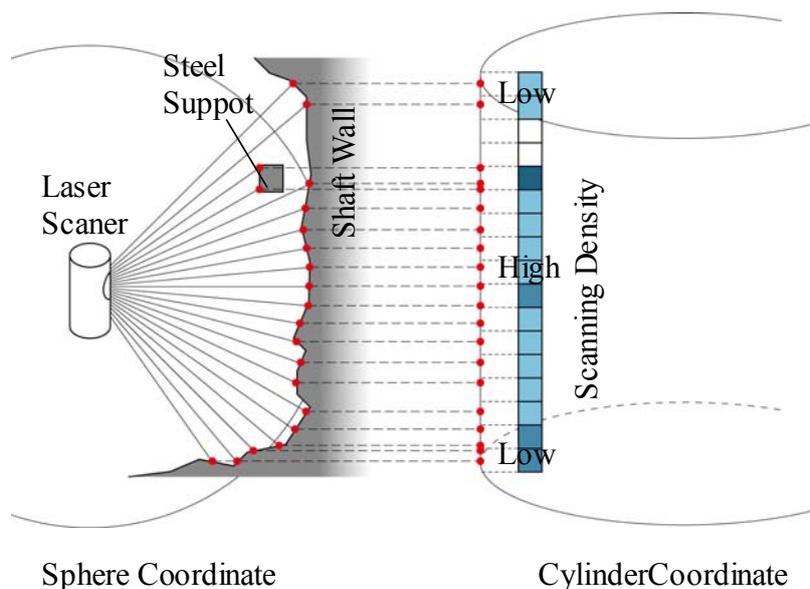


図-4.12 3次元レーザースキャナーの立坑壁面形状測定精度の概念図

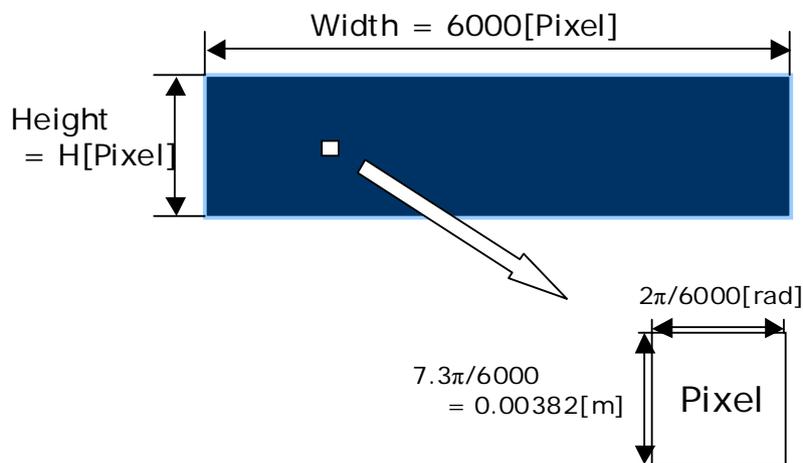
瑞浪超深地層研究所主立坑工事における形状測定では、水平面内一周につき6,000点の形状データが採取されている。これは測定角度間隔 $0.06^\circ$ に相当し、瑞浪超深地層研究所主立坑の設計掘削壁面上での円周方向測定距離間隔 $\Delta L$ は以下ようになる。

$$\Delta L = \frac{D\pi}{6000} = \frac{7,300\pi}{6000} \cong 3.82mm \quad (4.1)$$

式(4.1)において  $D=7,300\text{mm}$  は瑞浪超深地層研究所主立坑の設計掘削断面直径を示すものである。この測定距離間隔  $\Delta L$  は、当該測定で実現される最も精密な測定精度間隔  $\Delta L_{min}$  と考えてよい。なぜなら、設計覆工厚を確保するために、実際の立坑掘削断面は設計掘削断面径よりも大きく掘削されるためである。

このことから、**図-4.13** に示すような一辺の長さ  $\Delta L_{min}$  の正方形参照要素(以下、ピクセルと呼ぶ)を考え、瑞浪超深地層研究所主立坑の設計掘削半径( $R=3.65\text{m}$ )で展開した立坑壁面領域をこのピクセル寸法で分割し、測定された $(x,y,z)$ 座標、および RGB と反射強度値を対応するピクセルに再配列することを考えた。

前述のように、3次元レーザースキャナーは水平面内につき測定角度間隔  $0.06^\circ$  で形状測定を行うから、平滑な立坑壁面(設計掘削断面)への投影を考えた場合、同一高さにおいてデータの抜けや重複は生じないが、鉛直方向に関してはこの限りでなく、測定領域の上部や下部ではデータの抜けが生じるピクセルが不可避免的に発生する。しかし、少なくとも当該測定で実現される最も精密な測定精度間隔  $\Delta L_{min}$  でピクセルを分割している以上、同一ピクセルに二つの測定データが重複することはない。いいかえれば、測定したデータをすべて順序良く、並び替えることが可能となる。これは、データの欠落ピクセルも含めたデータ保存を行うこととなるが、規則的にデータを扱えることで処理速度の向上を図ることが可能となり、コーディングも容易となる。



**図-4.13** 掘削半径で展開した立坑壁面への参照要素の割付

また、このようなデータ再配列法は結果として保存すべきデータ容量を大きく低下させることが可能である。3次元レーザースキャナーで測定されたデータは、**図-4.14** 左図のように測定角  $\theta, \phi$  に準じて格納されているが、前述の再配列を行うことで**図-4.14** 右図のようにピクセルの水平展開角測定角  $\theta$  と参照要素の深度  $Z$  に準じて各種データを格納することが可能となる。

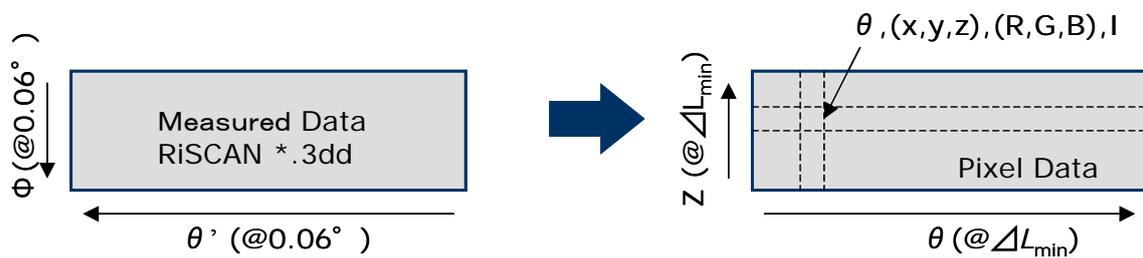


図-4.14 データ再配列の概念

これは円筒座標系にデータを置き換えて保存することとなり、この形式で保存されたデータを読み込むだけで、直ちに壁面展開図の表示が可能となる。いいかえれば、ピクセルの配列が設計壁面の円筒座標そのものであるため、壁面形状測定点の直交座標データと円周角  $\theta$  のみを保存すれば良いこととなる。ただし、測定角  $\theta'$  と再配列された円周角  $\theta$  は同一ではないことに注意が必要である。



図-4.15 参照要素上に割付られた測定 RGB データの例

この方法で測定形状を参照要素に割り付けた場合、参照要素のデータが空(Null)となる要素が生じる。図-4.15 は、測定された RGB データを参照要素に割り付けた例を示すものであり、測定データが欠落したピクセルをピンク色で表示している。図-4.15 を見ると、測定の上・下部でデータが欠落した参照要素の密度が大きくなっていることが理解できる。これは、図-4.12 に模式的

に示したデータ測定精度のばらつきが実際に発生していることを示すものである。なお、RGB データと座標データ(x,y,z)、および受光強度は同一測定点でデータセットとして測定されるから、データ測定密度は他のデータに対しても同一である。

ここでは、座標データの補間や修正は必要最低限とすることとした。しかし、壁面画像 RGB データや受光強度データは種々の解析の参照画面に供せられるため、**図-4.15** のように不鮮明な画像では解析を行う際に種々の不都合が生じるものと考えられた。このため、欠落データの補間も併せて実施することとした。データ再配列の手順は**図-4.16** のようなものである。

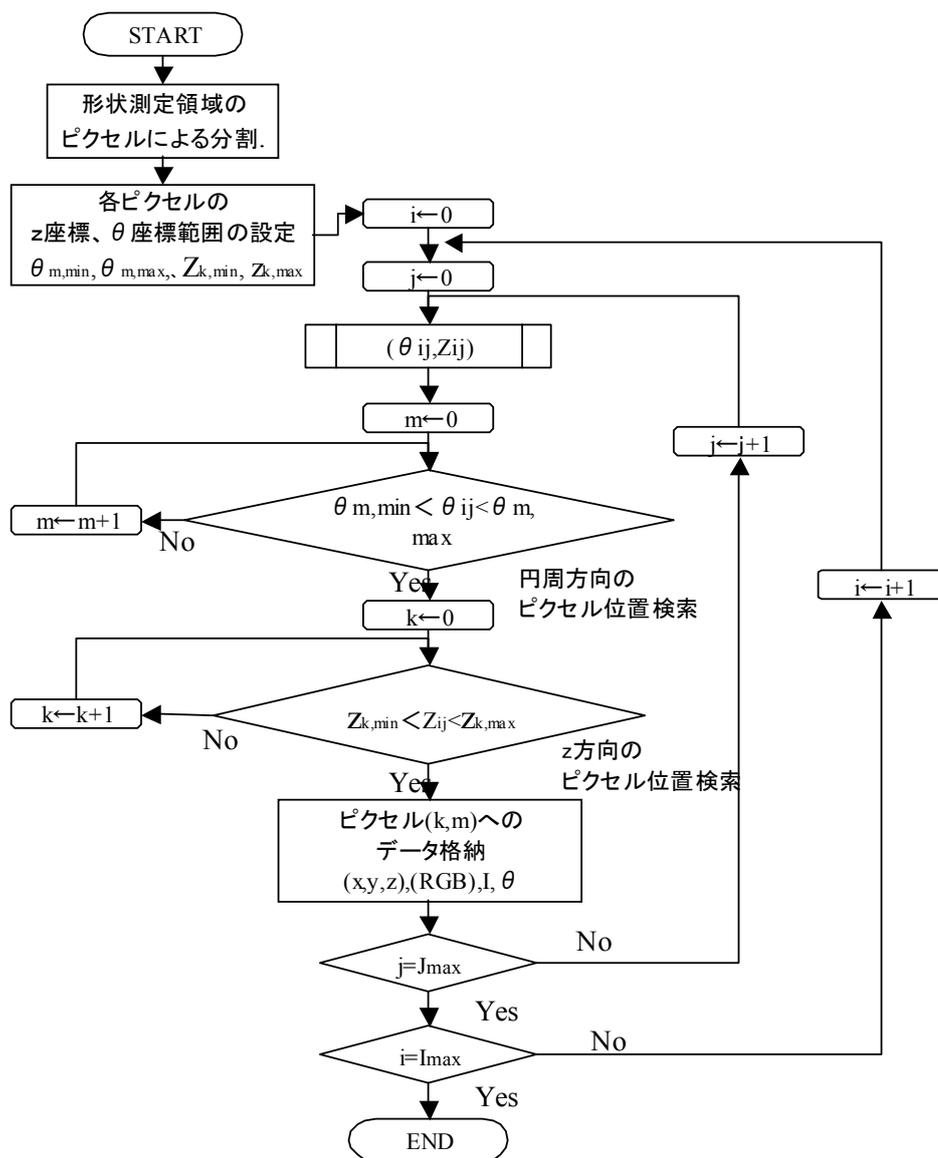


図-4.16 測定データ再配列の流れ

まず、図に示すように当該測定範囲を一辺の長さ  $\Delta L_{mint}$  のピクセルで分割し、各ピクセルのz座

標、 $\theta$ 座標範囲を設定する。この段階では、3次元レーザースキャナー走査順にデータが並んでいるから、その順に個々のデータの $(\theta, z)$ 座標を取り出し、そのデータに対応するピクセル  $P_{km}$  を検索し、測定された壁面座標 $(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ 、画像データ $(R_{ij}, G_{ij}, B_{ij})$ 、反射強度  $I_{ij}$ 、および  $\theta_{ij}$ をこのピクセルに割り付ける。図-4.16では、対応するピクセルの検索方法を逐次的に示しているが、実際のコーディングでは高速化のために選択的な検索手法を採用した。

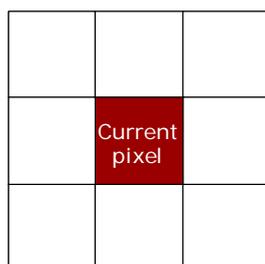
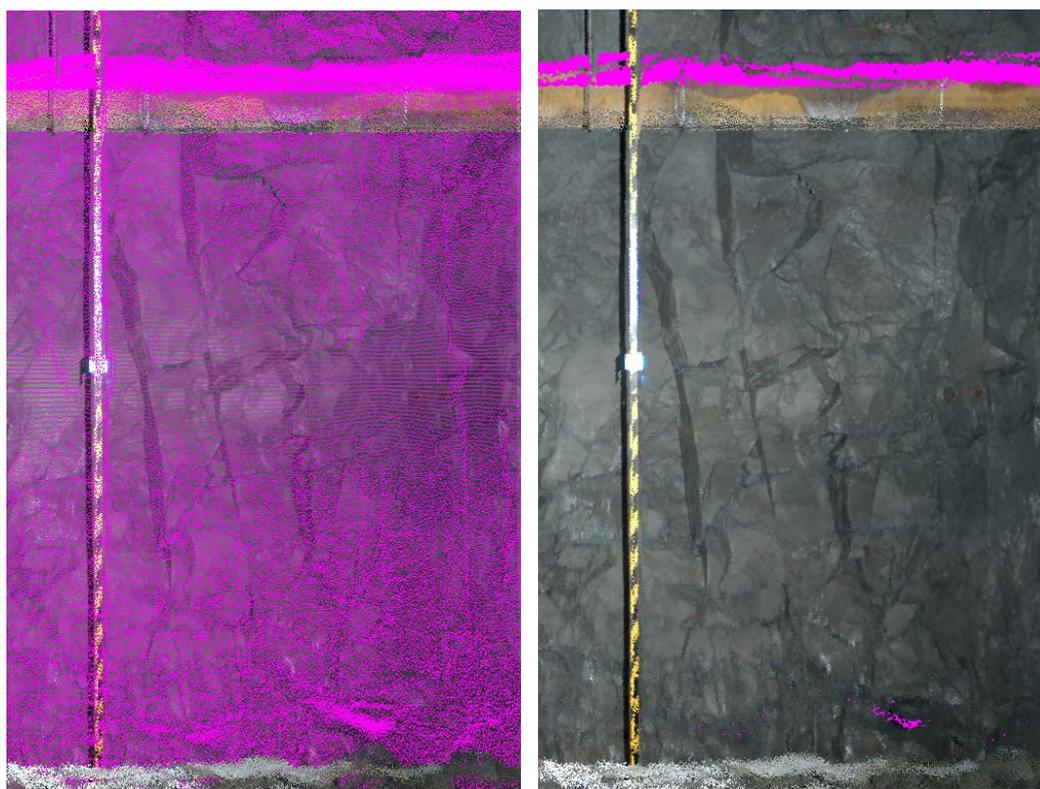


図-4.17 補間対象ピクセルとその隣接ピクセル



(a) データ補間前の壁面画像

(b) データ補間後の壁面画像

図-4.18 データ補間前後の壁面画像の比較

再配列の単位要素としたピクセルは最も精密な測定間隔  $\Delta L_{mint}$  を基準にしているため、不可避免的にデータが存在しないピクセルが発生する。本システムでは、できる限り測定されたデータに

操作を加えないことを考え、データ変換過程では欠落ピクセルのデータ補間を行わないものとしていた。しかし、想定していた以上にデータの欠落するピクセルが多く、壁面 RGB 画像や受光強度画像が不鮮明で、実務に供することが難しいと判断したため、これらのデータに関する補間を実施することとした。

欠落データの補間方法は、種々の方法が提案されているが、本システムでは試行錯誤の結果、以下のような方法を採用することとした。すなわち、**図-4.17** に示すように、データ補間対象となるピクセル(測定データが欠落したピクセル)には必ず隣接する 8 個のピクセルが存在する。データの欠落は連続して発生することが多いが、周辺ピクセルに一つでも測定値を持つピクセル(有効ピクセル)が存在するならば、有効ピクセルが持つ値の算術平均をデータ補間対象ピクセルの値とする。この補間法は、データのトレンドを尊重するとともに、補間データの信頼性を損なわないよう考えたものである。

この補間法の妥当性を検証するため、**図-4.18** に補間前後の壁面画像データを比較して示す。**図-4.18** に示されるように、補間により壁面画像は大幅に鮮明となり、各種解析の参照画面に供するに足るものと判断した。残面ながら、鋼製支保工上部全体と画面右下一部に、データ欠落集中部が存在するが、実用に供するうえで特に問題ないものとする。

なお、鋼製支保工上部全体でデータ欠落が生じるのは、**図-4.12** に模式的に示したように、鋼製支保工が測定レーザーを反射・遮蔽するためであり、現状の形状測定法では不可避免的に発生する問題と判断せざるを得ない。

### 4.5.3 データの深度方向合成

瑞浪超深地層研究所主立坑工事において、各ステップごとに測定された形状測定データを掘削深度方向に合成することは、本システムのうちで最も重要な機能の一つである。

表-4.1 深度対応表の形式

プロジェクト区間	上限深度 UD	下限深度 LD
step43	GL.-51.600	GL. -52.900
step44	GL.-52.900	GL.-54.200
step45-46	GL.-54.200	GL. -56.800
step47-48	GL.-56.800	GL.-59.400
step49-50	GL.-59.400	GL. -62.000
step134-135	GL.-167.400	GL. -167.400
step136-137	GL.-170.000	GL. -170.000

各形状測定プロジェクトが対象とする測定区間は表-4.1の形式の深度対応表で与えられている。当該プロジェクトでは、各測定データのモデル座標系における深度は、測定時に深度が既知のターゲットを設置することで与えられる。したがって、各深度間の整合性はこのターゲットの精度に大きく支配される。

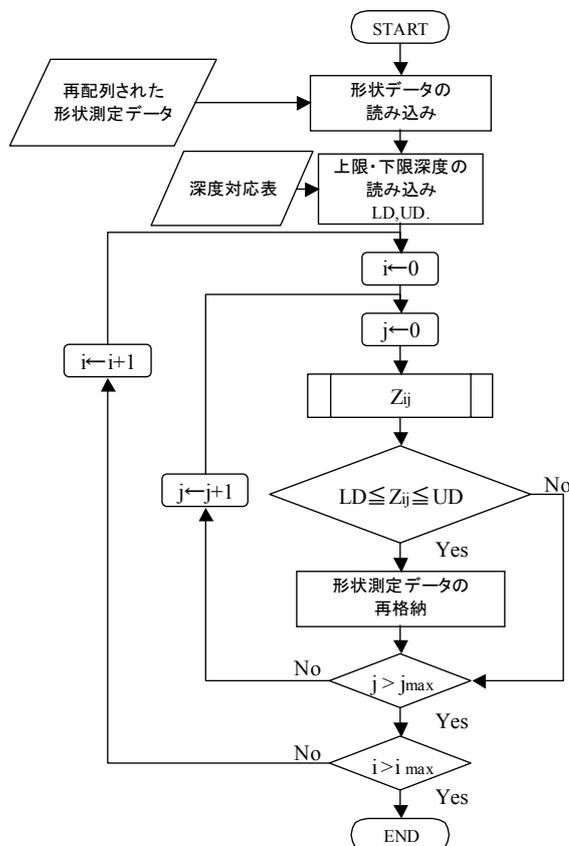


図-4.19 深度切断作業の流れ

ターゲットの設置精度が十分信頼のおけるものであれば、表-4.1 の形式で与えられる深度対応表に従って、各ステップで不要となるデータを削除する(深度切断する)だけで、整合性の高いデータの深度方向合成が可能であり、自動処理を行うことができる。一方、ターゲット設置に何らかの問題がある場合、合成された形状データは深度境界部でデータの重複や欠落などの問題が生じ、データの修正が必要となるものと思われる。なお、将来の修正を念頭に、深度切断前の形状データも各深度ごとに保存することとした。

図-4.19 に深度切断作業のフローを示す。上記のように、当該作業は再配列された形状測定データを深度対応表に指定された深度で切断するだけの深度切断のため、作業の流れも、図に示すような単純なものである。なお、図-4.19 では各ピクセル毎に深度の判定を行っているが、実際には同一深度のピクセルは一括した判定処理を行うことで高速化を図った。

#### 4.5.4 画像処理のためのデータの間引きとデータ登録・保存

当該システムの最も重要な機能は、各深度ごとに測定された壁面形状データを深度方向に連結・加工し、描画することにある。いま、実際の作業を想定すると、壁面に現れる微細地質構造を対象とする場合、測定精度限界に近い描画精度が求められるのに対し、断層・破砕帯等の巨視的構造を対象とする場合、描画精度よりも複数の測定データ相互間の整合性、ならびに大容量データの高速度描画が求められると考える。すなわち、全く相反する要求性能を一つのシステムにおいて実現することが求められている。

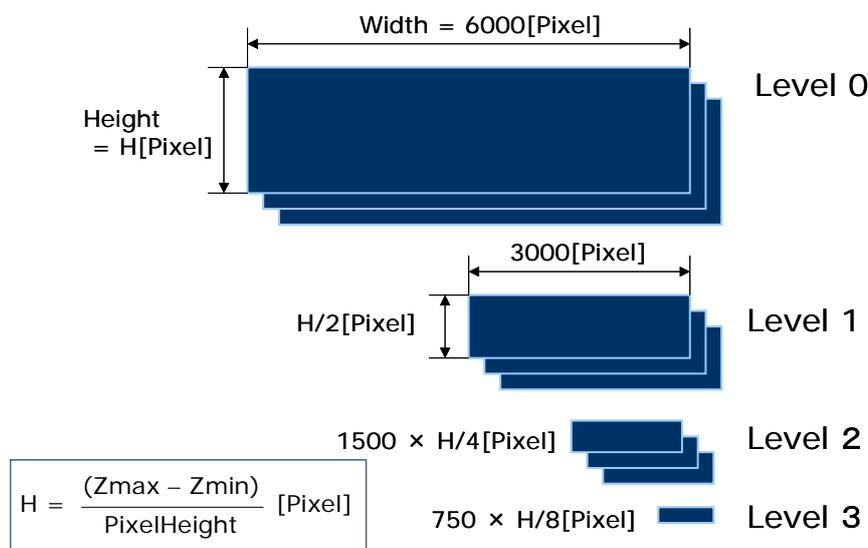


図-4.20 データの圧縮レベル

高精細描画に関しては、測定全データの保存、RGB データ補間による壁面画像の高精細化を考えた。ここでは、大域の高速描画を行うための測定データの間引き(圧縮)と、その登録・保存に関して記述する。

当該システムでは、大域の高速描画を行うことを目的として図-4.20 に示すように4段階に測定データを圧縮し、表示領域の寸法(表示倍率)に応じて最適な圧縮率で画像表示を行うことを考えた。すなわち、描画精度は描画モニターのドット数で支配されるため、精密な測定データを用いて大域描画を実施したとしても、描画精度には反映されず、いたずらに描画処理時間を遅延させるだけである。したがって、描画領域と描画モニターのドット数に応じた圧縮率で描画を実施することが描画効率上望ましく、また地質精査作業の精度も保証される。

しかし、データ圧縮作業をデータ読み込みのたびに行っているのは、全体の処理速度を向上させることが難しいため、データ変換作業時にあらかじめ圧縮したデータを作成し、これを保存することとした。すなわち、指定された描画領域(表示倍率)に対応する圧縮データを読み込み、これを深度方向に連結することで全体的な描画の高速化を図ることを考えた。

実際のデータ圧縮は、図-4.20 に示すように圧縮率を Level 1 として 1/4、Level 2 として 1/16、さ

らに Level 3 として 1/64 までを考えた。データ圧縮方法は、以下のようなものである。すなわち、Level 1 では左右 2 ピクセル、上下 2 ピクセルを一つのピクセルに統合し、これらのピクセルに格納された測定データの平均値を統合されたピクセルの代表値とする。ただし、測定データの欠落するピクセルは、RGB データを除いて、平均値算定の対象としない。また、すべてのピクセルで測定データが欠落している場合、統合ピクセルの代表値も Null とする。以下、同様の手続きで Level 1 のピクセルを統合し Level 2 を、Level 2 から Level 3 を作成するものとする。

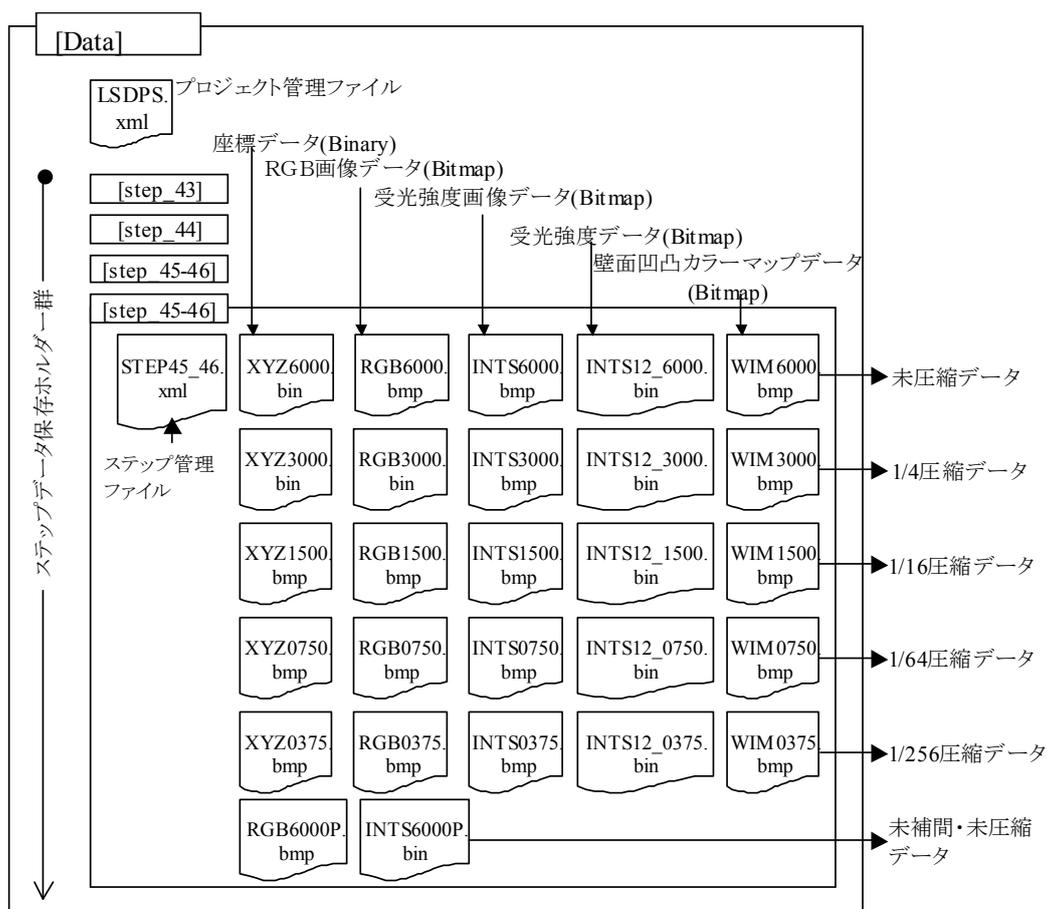


図-4.21 形状測定データ・圧縮データの保存形式

このように、圧縮したデータ群を一つの塊として、図-4.21 のような形式で保存する。すなわち、変換された形状測定データは任意のフォルダー(図-4.21 では Root Folder)内にすべて保存され、そのフォルダーの直下には、全形状測定プロジェクトを管理する XML ファイル (ファイル名: LSDPS.xml)と、それぞれの形状測定プロジェクトの変換データ・ファイルを保存するフォルダーが存在する。変換データ・ファイルが保存されるフォルダー名は、図-4.26 に示されるように形状測定に関連する掘削ステップをフォルダー名とした。これは形状測定プロジェクト名の命名法と同一で、STEPxxxxyy である。

このプロジェクト・フォルダー内には、各形状測定プロジェクトの変換データを管理するための XML ファイルと変換された形状測定データが保存される。この XML ファイルを以下ではステップ管理ファイルと呼び、フォルダー名と同一のファイル名を与えるものとした。なお、そのセカンダリー・ネームは.xml である。

壁面形状座標データはバイナリー形式で保存され、そのファイル名はいずれのプロジェクト・フォルダー内でも XYZxxxx.bin データである。また、壁面 RGB データと受光強度データはいずれもビットマップ・フォーマットで保存され、それぞれ RGBxxxx.bpm、および INTNSxxxx.bpm のファイル名を持つ。

ここで、xxxx は圧縮率に対応した数字で未圧縮の場合(level 0)に 6000、level 1,2,3 に対してそれぞれ 3000,1500,0750 の値をとり、これらの数値は各圧縮率における円周方向ピクセル数を示すものである。なお、未補間の壁面 RGB データと受光強度データは、それぞれファイル名 RGB6000p.bpm、および INTNS6000p.bpm とし、末尾に p(primitive)の文字を付けた。

なお、実際のデータ保存に当たっては、ファイル群をさらにタイル分割し、単位のファイルサイズを均等化した。これは、必要箇所だけを読み込むことでデータ入力、ならびに描画の高速化を図ったものである。

## 4.6 壁面形状データの可視化とその操作

### 4.6.1 初期操作画面と各ウィンドウの概要

図-4.21 に、壁面形状データの可視化初期画面を示す。図に示すように、可視化画面は機能ごとに独立したウィンドウ群で構成される。これらのウィンドウ群は、必要に応じて分離やサイズ調整を行うことが可能である。それぞれのウィンドウやメニューバーの機能は以下のとおりである。

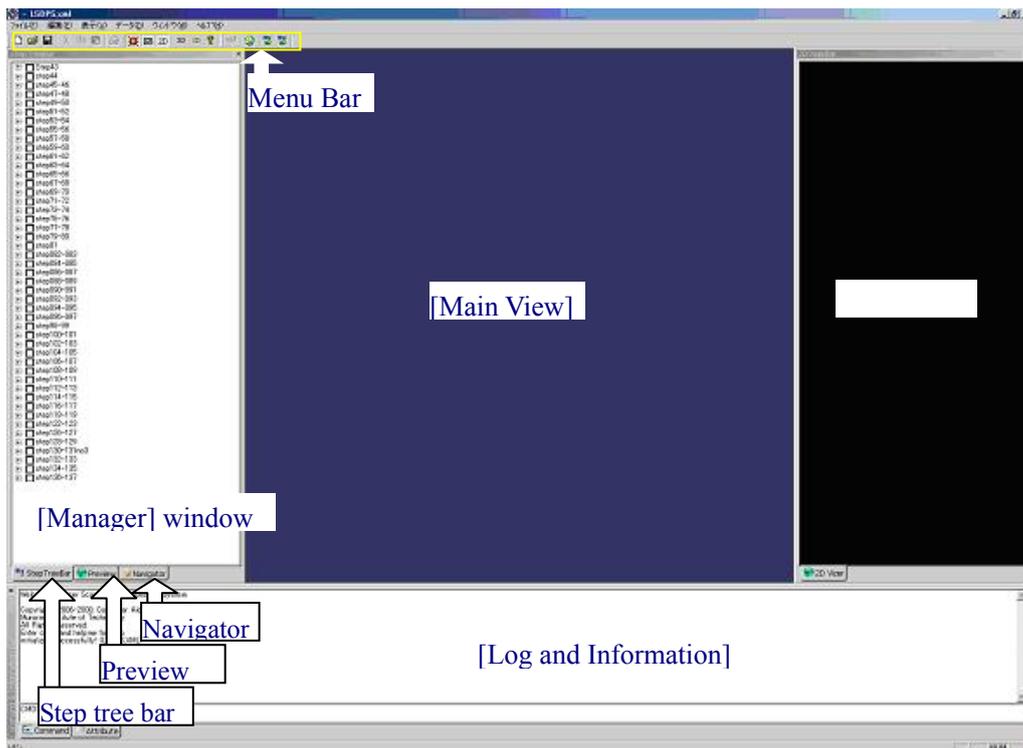


図-4.21 LSDPS 初期操作画面と各ウィンドウ名称

- [Manager] 形状測定データの選択・管理を行う。このウィンドウは[Step tree bar]タブ、[Preview]タブ、ならびに[Navigator]タブで構成される。
- [Preview]タブ : 登録されている形状測定データの RGB 平面展開図がすべて表示されたタブで、現状までの掘削状況を確認するために用いられる。
- [Step tree bar]タブ: 解析・可視化作業の対象領域を指定するためのタブ。ここで指定された測定プロジェクトが 2D ビュー上に平面展開表示される。
- [Navigator]タブ : [2D View]や[Main View]における可視化方法、視点制御機能を統合した。
- [Main View] 形状測定データの 3 次元形状表示や立坑モデル表示を行う。

[2D View]	形状測定データの 2 次平面展開 RGB 表示を行う。また、各種データ操作や表示設定はこの画面上から行われる。
[Command & Information]	コマンド入力と実行処理に対する情報を表示する。2D View 上で取得した壁面座標などはこの画面上に表示される。
Menu Bar	実装されたアイコン群により、ウィンドウ群の管理と、画像更新を実行する。

以下、各部ごとに、その機能と操作方法について説明を行う。

#### 4. 6. 1 [Step tree Bar]タブの機能と操作

形状測定データを可視化・解析するためには、表示・分析の対象とする形状測定データを選択することからはじめなければならない。形状測定データの選択は、**図-4. 22** に示すように、[Manager]ウィンドウの[Step tree bar]タブに表示される測定ステップ名の先頭にあるチェックボックスをオンにすることで行う。なお、[Step tree bar]タブには C:\Program Files\CAVL\LS DPS\Data フォルダ内にあるすべての形状測定データが表示される。言い換えれば、現在登録されているすべての形状測定データが表示される。

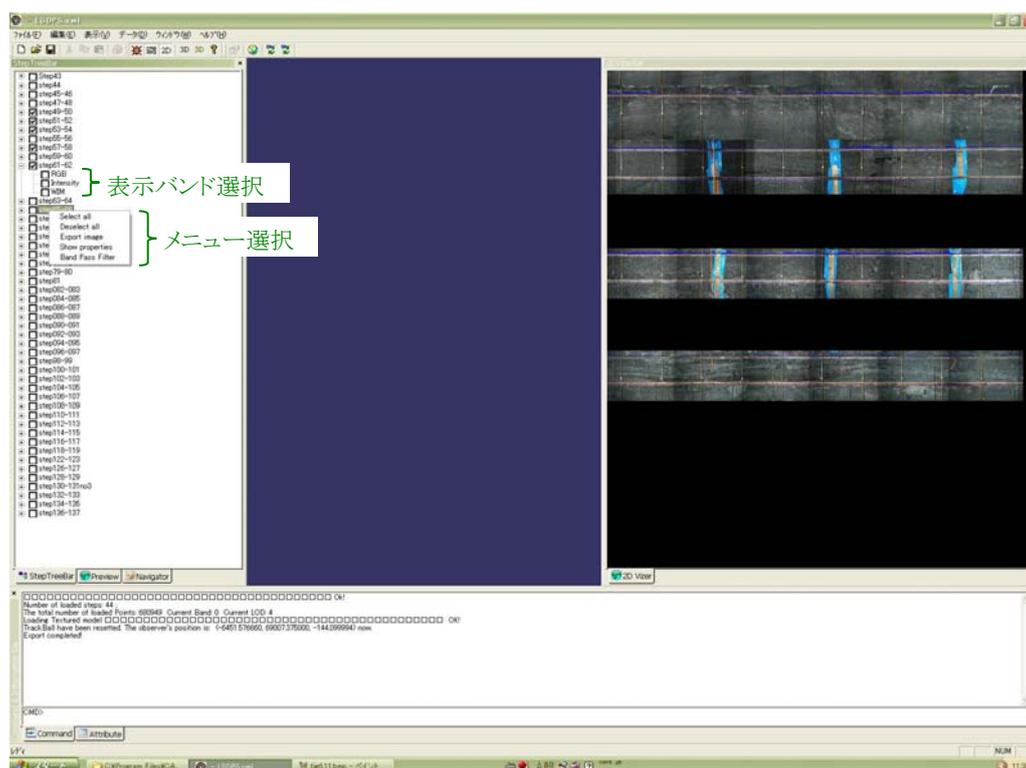
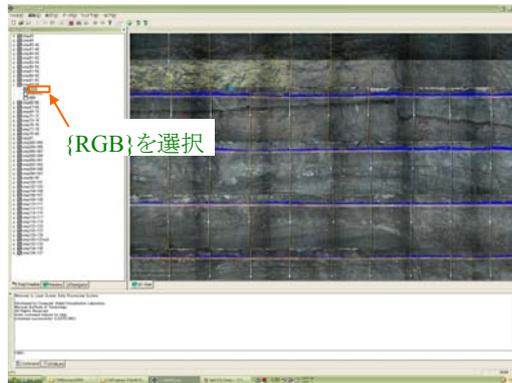


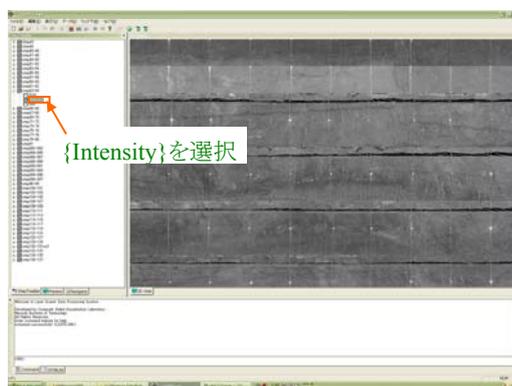
図-4. 22 測定ステップの選択と 2D ウィンドウ上への壁面平面展開 RGB 画像表示

測定ステップ名の先頭にあるチェックボックスをチェックすること、チェックしたステップ区間の壁面平面展開 RGB 画像が、逐次、[2D View]に表示される。**図-4. 22** は 6 つの測定ステップを選択した状況をしたものであり、図に示されるように必ずしも連続して測定ステップを選択する必要はない。

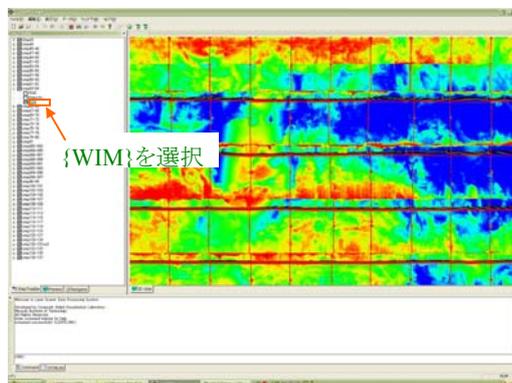
また、それぞれの測定ステップ名の下位には、**図-4. 22** に示すように[2D View]に表示するバンドの種類を指定するメニューがあり、任意の測定ステップ名で表示バンドを指定すれば、その変更が[2D View]に反映される。なお、現在、用意されているバンドは RGB 画像{RGB}、受光強度画像{Intensity}、壁面凹凸カラーマップ{WIM(Wall Irregularity Map)}の 3 種である。**図-4. 23 (a), (b), (c)** は、{RGB}、{Intensity}、{WIM}を指定した際の[2D View]表示をそれぞれ示すものである。



(a) RGB 2次元平面展開画像



(b) 受光強度 2次元平面展開画像



(c) 壁面凹凸カラーマップ 2次元平面展開画像

図-4.23 バンド選択による[2D View]の変化

さらに、[Step tree Bar]タブ上の任意の形状測定プロジェクト名上で右クリックすると、-4. 22 示すように、メニュー項目が現れる。現在、用意されているメニュー項目は、{Select all}、{Deselect all}、{Export image}、{Show Properties}、{Band Pass Filter}の 5 項目であり、これらは、それぞれ以下のような機能を持つ。

#### 1) {Select all}、{Deselect all}の機能と操作

{Select All}をクリックすると、[Step tree Bar]タブ上に表示されたすべての測定ステップのチェックボックスが選択され、[2D View]にもすべての選択画像が表示される。一方、[Deselect All]をクリックするとそれまで選択していた測定ステップがすべて非選択となり、[2D view]には何も描画されなくなる。

#### 2) {Export image}の機能と操作

{Export image}は測定ステップの 2 次元平面展開画像をビットマップ形式で外部出力する機能を有する。すなわち、任意の測定ステップを[Step tree bar]タブ上で指定し、マウスを右クリックして{Export image} を実行すると、ビットマップデータを保存するファイル名の入力を要求するので、適当なファイル名を入力して、{OK}をクリックすれば当該形状測定データの 2 次元平面展開画像が保存される。

なお、出力される画像は出力時に指定されている表示バンドに従うものである。

#### 3) {Show Properties}の機能と操作

{Show Properties}は測定ステップの各種情報を表示する。いま、任意のステップを[Step tree bar]タブ上で指定し、マウスを右クリックして{Show Properties} を選択すると、[Log and Information]ウィンドウ上に当該ステップの各種情報が表示される。

#### 4) {Band Pass Filter}の機能と操作

{Band Pass Filter}は、[2D View]上の受光強度画像において、表示する受光強度の範囲を指定する機能を有する。なお、当該の機能は指定した測定ステップのみに有効な機能であることに注意が必要である。

その操作法は以下のようなものである。すなわち、[Band tree bar]上の任意の測定ステップを指定し、その測定ステップ上で右クリックを行うと受光強度範囲を指定する[Band Pass Filter Interval]タブが現れる。ここで、表示する受光強度範囲の最大と最小を指定し、{OK}をクリックすると指定された範囲に応じて受光強度画像が書き換えられる。指定可能な受光強度範囲は(0-4096)であり、これまでの瑞浪超深地層研究所立坑の測定データは、ほとんどが(960-1440)の受光強度範囲にあるものとされる。

#### 4. 6. 2 [Preview]タブの機能と操作方法

[Preview]タブは、可視化や解析に供する測定ステップの選定に当たってその状況を確認するために設けた参照画像タブであり、**図-4. 24** に示すように C:\Program Files\CAVL \¥LSDPS¥Data フォルダにあるすべての壁面形状測定データの RGB2 次元平面展開画像が、常時、表示されている。このタブ上で、右クリックすると**図-4. 24** に示すようなメニューが現れ、ここに{Pan}、{Option}の二つの項目が用意されている。

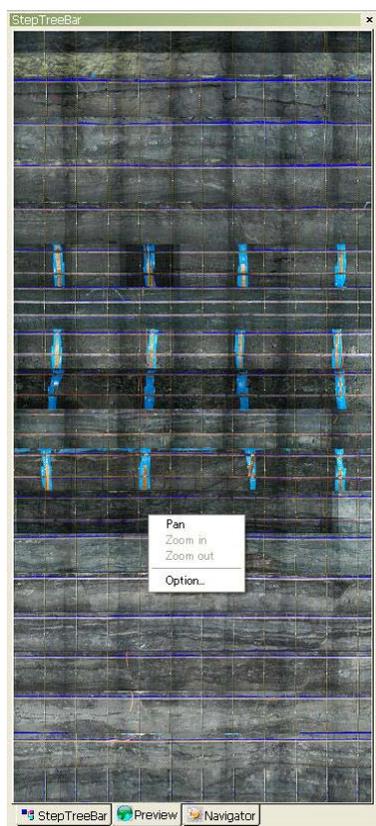


図-4. 24 [Preview]タブ画面とメニュー



図-4. 25 境界と最大・最小深度の描画

{Pan}は RGB2 次元平面展開画像の移動を可能にするもので、これを選択し、マウスをドラッグすると、マウスの動きに合わせて RGB2 次元平面展開画像が上下に移動する。また、{Option}を選択すると**図-4. 25** のよう[Dialog]ダイアログが現れ、{ステップの枠を描く}、{ラベルを描く}の二つの項目が用意されている。これらは、それぞれ測定ステップ境界と測定最大・最小深度を RGB2 次元平面展開画像上に表示するものである。これらをチェックすると、**図-4. 25** のように測定ステップ境界と測定最大・最小深度が白で表示される。

### 4. 6. 3 [Navigator]タブの機能と操作

ここで、[Navigator]タブは、[Main view]ウィンドウや[2D view]ウィンドウの画像操作機能を集約したタブであり、**図-4.26** に示す構成からなる。以下、各部の機能と操作を示す。

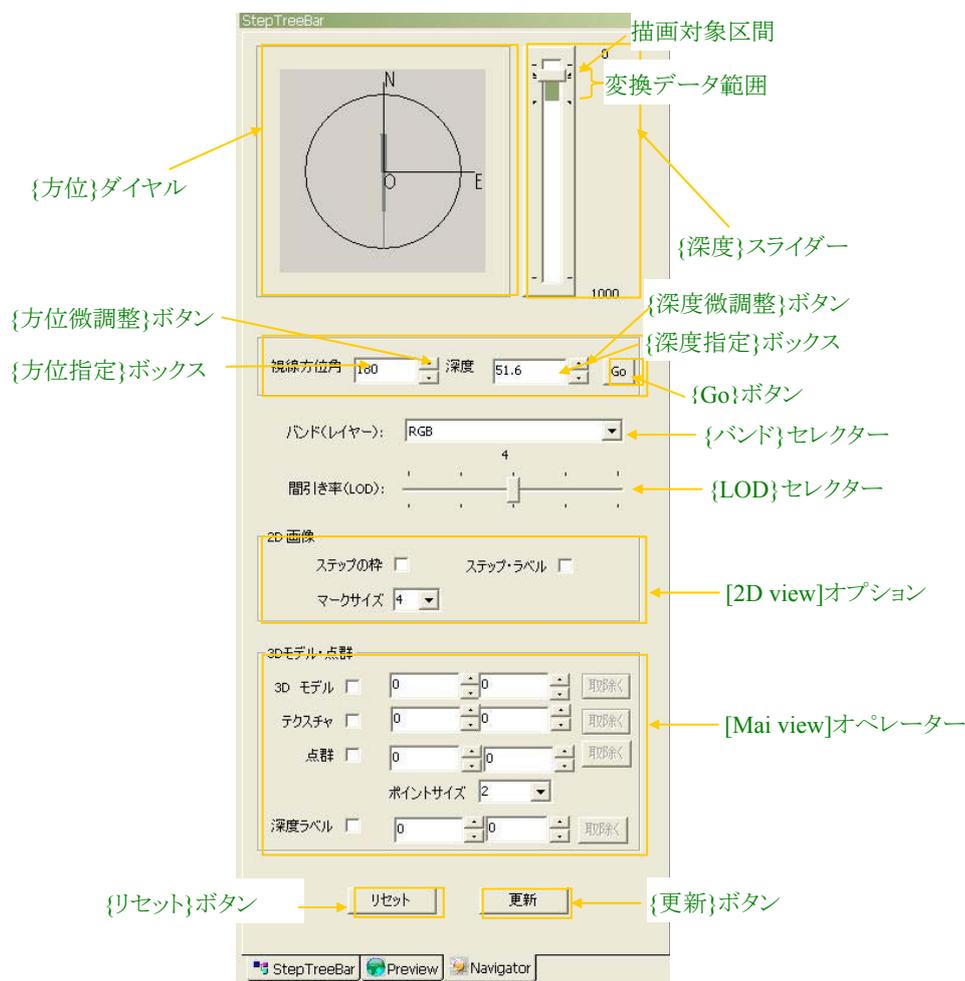


図-4.26 [Navigator]タブの構成

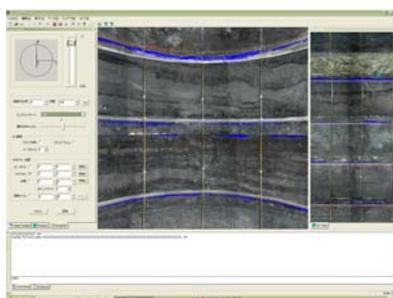
#### (1){方位ダイヤル}と{深度スライダー}

図-4.31 において、{方位ダイヤル}と{深度スライダー}は、[Main view]上の 3 次元画像の視野方位と視野深度をマウスによって調整する。このとき、{深度スライダー}中の薄い緑でマーキングされている範囲は形状測定データが存在する区間を示し、その脇の黒いマーキング領域が、現在、描画対象と指定している区間を示す。

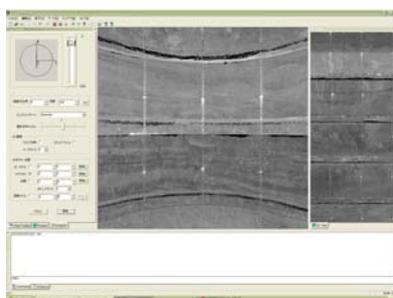
同様の操作は、{方位指定}ボックスと{深度指定}ボックスによって行うこともできる。また、{方位微調整}ボタンと{深度微調整}ボタンは、それぞれ方位と深度を微調整する。

## (2){バンド}セレクトター

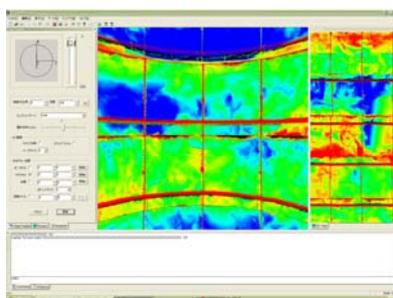
{バンド}セレクトターは、[2D view]と[Main view]に描画するバンドの選択を行う。{バンド}セレクトターでバンドを指定後、{更新}ボタンをクリックすると、[2D View]と[Main view]に描画されるバンドが同時に変更される。図-4.27 にバンドの切り替えによる描画面面の変化を示す。



(a) {バンドセレクトター}による RGB 画像の指定



(b) {バンドセレクトター}による受光強度画像の指定



(c) {バンドセレクトター}による壁面凹凸カラーマップ画像の指定

図-4.27 バンドの切り替えによる描画面面の変化

### (3){LOD}セレクトター

{LOD}セレクトターは、[2D view]と[Main view]に描画される画像の間引き率(LOD)を選択する。間引き率は'0'から'4'までの 5 段階で、'4'が間引きのない最も精密な画像、'0'が最も粗く間引かれた画像でデフォルト画像となっている。表-4.2 に間引き率と LOD の関係を示す。

表-4.2 間引き率と拡大段階の関係

LOD	間引き率
0(Default)	1/256
1	1/64
2	1/16
3	1/4
4	0

### (4)[2D view]オプション

[2D view]オプションは[2D view]上の画像表示に関するオプションの設定を行い、{ステップの枠}、{ステップ・ラベル}、{マークサイズ}の3つの項目が用意されている。最初の2項目は、それぞれ測定ステップ境界と測定最大・最小深度を2次元平面展開画像上に表示するものである。

また、{マークサイズ}は[2D view]上で座標データ取得等の作業を行う際に、データ取得点位置を表示するマークの大きさを指定する。

### 5)[Main view]オペレーター

[Main view]オペレーターは、[Main view]に表示する3次元描画項目を設定し、それぞれの描画において N-S 方向、ならびに E-W 方向の視線の移動を行う。また、描画に関する設定も行うものである。

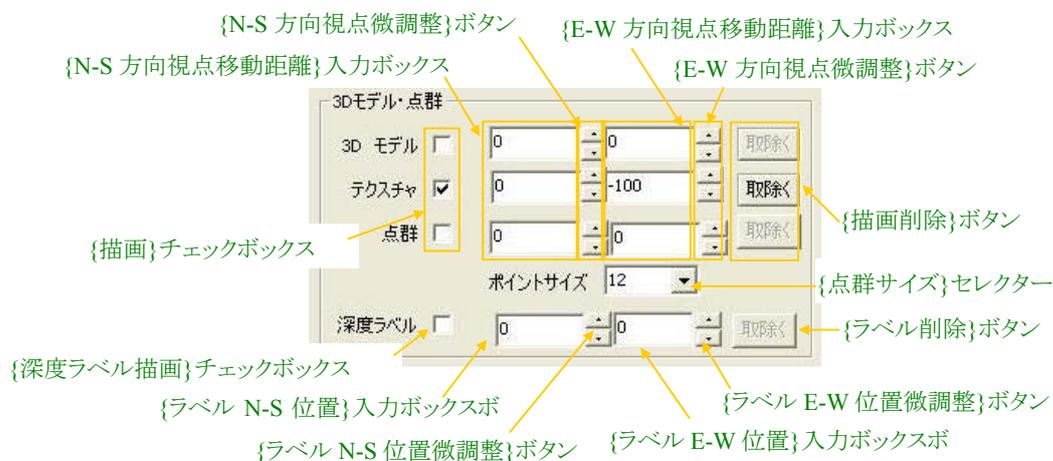
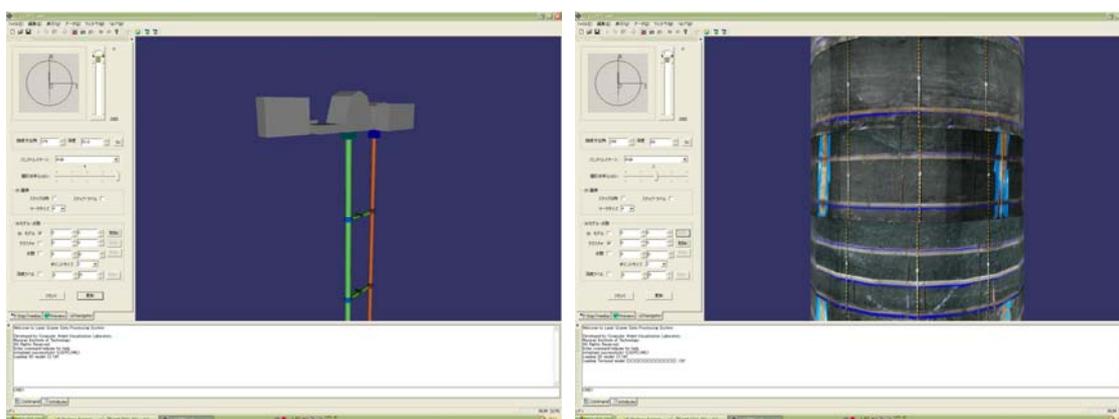


図-4.28 [Main view]オペレーターの各部

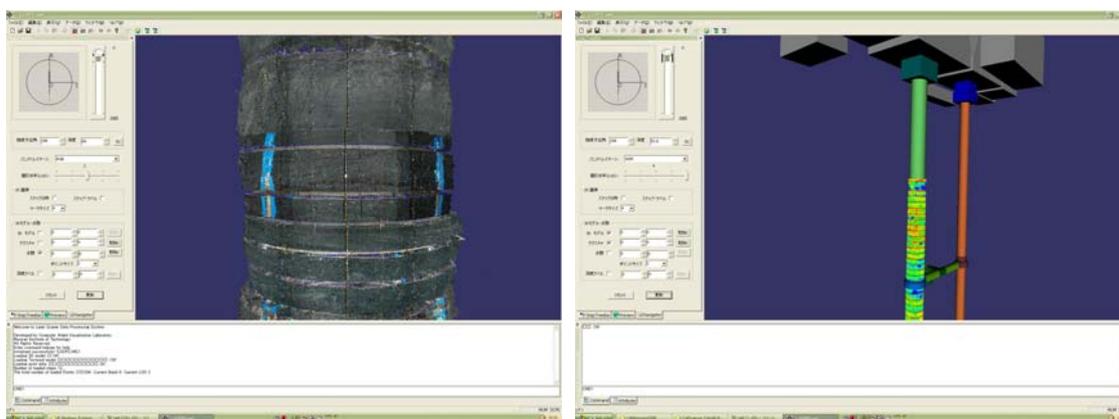
描画可能な 3 次元項目は、**図-4.28** に示すように(3D モデル)、(テクスチャ)、(点群)の 3 種類であり、それぞれの{描画}チェックボックスをチェックすることで各項目が[Main view]上に描画される。

(3D モデル)は**図-4.29(a)**に示すように、瑞浪超深地層研究所の CG モデルである。また、(テクスチャ)は**図-4.29(b)**に示すように、(RGB)、(受光強度)、(壁面凹凸カラーマップ)等の画像データを瑞浪超深地層研究所主立坑設計断面上に貼り付けた 3 次元モデルである。さらに、(点群)は、立坑壁面形状を点群として 3 次元で表現したモデルである。なお、これらの描画項目は、同時に{描画}チェックボックスをチェックすることが可能である。例えば、(3D モデル)と(テクスチャ)の{描画}チェックボックスをチェックすると、**図-4.29(d)**のように、瑞浪超深地層研究所の主立坑 CG モデル上にテクスチャが貼り付けられ、相対的な位置関係が明瞭となる。なお、{描画削除}ボタンをクリックすると、これらの描画は直ちに消去される。その処理は個別の描画項目に対して行うことができる。



(a)(3D モデル)

(b) (テクスチャ)



(c)(点群)

(d)(3D モデル)と(テクスチャ)の複合表示

**図-4.29** 描画項目と複合描画の例

(テクスチャ)と(点群)が最初に描画された際の視点位置は、立坑最上部の立坑中心にあり、N 方位を向いた画像が描画される。方位や深度の調整は、前述の{方位}ダイヤルや{深度}スライダーにより行うが、始点位置そのものを{N-S 方向視点移動距離}入力ボックスと{E-W 方向視点移動距離}入力ボックスによって行うことができる。入力単位はcmで、N-S方向の視点移動においてN方向の移動を正值、S方向の移動を負値とする。また、E-W方向の視点移動においてE方向の移動を正值、W方向の移動を負値とする。

なお、視点移動は{N-S方向視点微調整}ボタン、ならびに{E-W方向視点微調整}ボタンによっても可能であり、これらのクリックするたびに1cmずつ始点が移動する。なお、一つのボタンをクリックし続けると、移動速度が徐々に加速される。

また、{点群サイズ}セレクトアは点群表示における一点のサイズを選択するもので、その選択範囲は(0-12)である。数字が大きいほど、大きな点を描画する。なお、(0)は点を描画しないことを意味するものではない。

最後に、{深度ラベル描画}チェックボックスは、[Main View]上の3次元モデルに深度ラベルを付加する機能を持つ。

#### 4. 6. 4 [2D View]の機能と操作

[2D view]は、各種バンドの2次元平面展開画像を表示するとともに、種々の分析を行う重要なウィンドウである。[2D view]上の任意の位置でマウスを右クリックすると図-4.30のように、[2D view]のメニューが表示される。



(a)右クリックによる[2D view]メニュー呼び出し

Pan	[画像操作部]
Zoom in +	
Zoom out -	
Reset	
Mark a point & get its XYZ	[座標演算処理部]
Clear all mark point	
Calculate strike Angle & dip angle	
Export all mark points	
Export XYZ to DXF file..	
Export Intensity to CSV file..	{受光強度出力}
Expand to Full Screen	{画像最大化}

(b)[2D view]メニュー

図-4.30 [2D View]上からのメニュー呼び出し

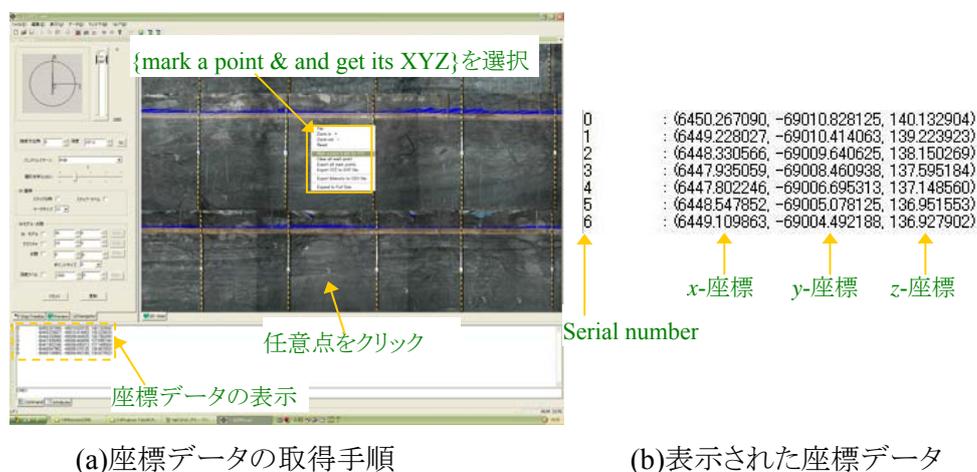
[2D view]のメニューは、大きく[画像操作]部、[座標演算処理]部、{受光強度出力}、{画像最大化}の3つに大きく分かれる。以下、各部の機能と操作を示す。

##### (1)[画像操作]部の機能と操作

[画像操作]部には、{Pan}、{Zoom in}、{Zoom out}、{Reset}の4つのコマンドが用意されている。{Pan}は、2次元平面展開画像を移動する機能で、{Pan}を選定後するとマウスの動きに合わせて画像が移動する。画像の拡大・縮小は、メニューの{Zoom in}、もしくは{Zoom out}をクリック後、拡大したい箇所にマウスを置き、左クリックすると画像が1段階ずつ拡大、あるいは縮小される。なお、拡大・縮小は、'0'から'4'までの5段階で、これは間引き率(LOD)に対応しており、'4'が間引きのない最も精密な画像、'0'が最も粗く間引かれた画像である。

## (2)[座標演算処理]部の機能と操作

[座標演算処理]部には、{Mark a point & get its XYZ}、{Clear all mark points}、{Calculate strike angle & dip angle}、{Export all mark points}、{Export XYZ to DXF File}の5つのコマンドが用意されている。{Mark a point & get its XYZ}は、指定した点の(x, y, z)座標を読み取る機能で、{Mark a point & get its XYZ}を選定後、[2D view]上の任意点をマウスでクリックすると、その点が図-4.31(a)のように[Log and Information]に表示される。なお、このとき表示される座標値は、測量座標系の(x, y, z)座標値であり、座標には取得した順に番号が付与される。



(a)座標データの取得手順

(b)表示された座標データ

図-4.31 任意点の座標値取得

取得した座標データ保存するには、必要な点の座標を選択した後、{Export all mark points}コマンドを選択すると、これまでに取得した座標データが dxf ファイル形式で保存され、保存作業終了後、[Log and Information]に作業の終了報告と保存ファイル名が表示される。なお、{Clear All Marks}コマンドをクリックすると、これまでに指定した点のマークと番号が消去されるが、その後、座標取得作業を再開すると、座標点の番号は新しい続き番号に更新される。

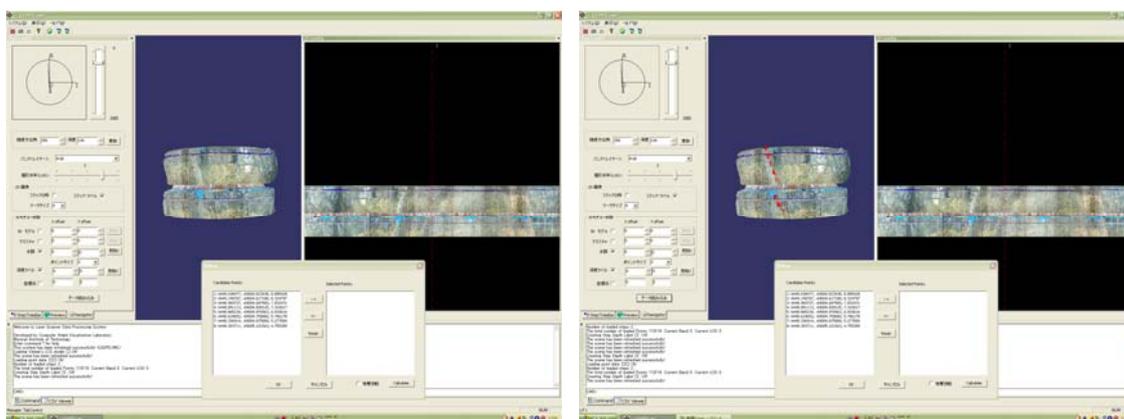
また、一定の領域の(x, y, z)座標値を dxf ファイル形式で保存するためには、{Export XYZ to DXF File}コマンドを用いる。いま、{Export XYZ to DXF File}を選択すると、座標データを保存したい矩形領域の指定が、2次元平面展開画像上で可能となる。ここで、マウスをドラッグして、矩形領域の左上と右下を指定すると、指定領域の左上座標値(cx<sub>0</sub>, cy<sub>0</sub>)と、右下座標値(cx<sub>1</sub>, cy<sub>1</sub>)を示すダイアログが表示される。

指定した矩形領域は、このダイアログ内の{(cx<sub>0</sub>, cy<sub>0</sub>)修正}ボックス、あるいは{(cx<sub>1</sub>, cy<sub>1</sub>)修正}ボックスにドット座標値を入力することで修正が可能である。なお、この座標値は、ピクセル座標系であり、その座標系は間引き率(LOD)で異なるが、その最大ピクセル数 cx<sub>max</sub>(右端のピクセル座標に当たる)は表-4.2 にしたがうものである。

領域指定を修正し、{OK}ボタンをクリックすると、[Log and Information]に、指定領域の情報が表示され、座標データを保存するファイル名の入力画面が現れる。これを確認し、保存ファイル名を入力し、{OK}ボタンをクリックすると、座標データの保存が開始され、終了後、終了の合図と、保存ファイル名(フルパスネーム)、ならびにファイルサイズ等の情報が表示され、作業は終了する。

### (3) {Calculate strike angle & dip angle}コマンドの機能と操作

{Calculate strike angle & dip angle}コマンドは、不連続面の走向・傾斜計算機能が実装されたコマンドである。当該コマンドでは、計算に供する候補点を点群表示上に表示する機能も付加されている。すなわち、**図-4.32**のように赤いマークで候補点が点群上に表示される。これは、平面上で指定した点の3次元空間上での位置を把握し得るようにしたものである。



(a) 点群表示と候補点の指定

(b) 候補点の点群上への表示

図-4.32 候補点の点群上への表示

また

### (4){Export Intensity to CSV file}コマンドの機能と操作

{Export Intensity to CSV file}コマンドは、指定領域の受光強度データをCSVファイル形式で保存する機能を有する。当該コマンドにおける作業手順は、{Export XYZ to DXF File}コマンドと同一である。

## 4.7 まとめ

本章では、VMURL 上での3次元レーザースキャナーデータの処理機構とその可視化機構に要求される性能・機能を整理し、システム全体の構造と機構の設計を行った。

本業務の目的とするところは、3次元レーザースキャナーから得られた形状測定データをもとに、空洞壁面近傍地山の地質精査を実施することのできる汎用的解析・可視化システムの設計を行うことにある。すなわち、精密に測定された形状座標とそれに付随する壁面 RGB 画像、ならびに壁面受光強度等をもとに、掘削直後の空洞壁面状況を VR 技術等により PC 上に再現し、断層等の走向・傾斜、空洞近傍の岩盤・地質分布等を分析することのできるシステムを設計するというものである。

4.2 節では、このために要求される性能と機能を以下のように整理した。

- 1) 測定精度と同等の精度で立坑壁面形状を再現することを目的として、測定された形状データのすべてをデータ処理対象として取り扱う。
- 2) 3次元レーザースキャナーにより測定された形状データに座標変換、データ再配列、データ容量圧縮処理等を施し、深度方向の合成や高速データ検索、高速描画処理が可能な形式に変換する機能を整備する。
- 3) 要求に応じ、柔軟かつ迅速な深度方向の形状測定データ合成を行うことのできる機能を整備する。このため、変換された壁面形状データを独自にデータベース化し、その検索機構を設計する。
- 4) 壁面形状データを正確、かつ高速に3次元、ならびに平面展開描画しうる機能を整備する。
- 5) 描画された画像を滑らかで連続的に拡大・縮小描画することのできる機能の整備を行う。
- 6) 平面展開表示された画像から、指定された点の座標を取得することのできる機能を整備する。
- 7) 変換された壁面形状や、分析・解析により得られた各種地質情報を CAD 形式で出力することのできる機能の整備を行う。

これらの機能を実現するためには、形状測定データの変換結果を単純に保存するのではなく、検索や合成に適した形態で保存し、かつその保存場所と保存形式等を、適宜、管理する必要がある。このために当該システムにおいて格子型データ構造と XML によるファイルシステムを採用するものとした。

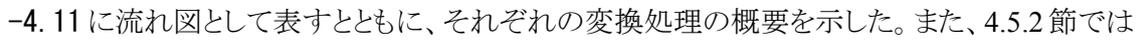
4.3 節ではこれを用いたシステムのフレームワークを設計し、併せて各サブシステムの機能設計も実施した。4.3.1 節では、格子型データ構造と XML によるファイルシステムを採用したシステムのブロックダイアグラムを示し、これを構成する5つのサブシステムを定義した。すなわち、(a)3次元レーザースキャナーデータの変換機能、(b)変換データの登録機能、(c)デー

タ検索・処理機能、(d)データ分析・解析機能、(e)分析・解析結果の可視化機能、(f)可視化処理機能(可視化プラットフォーム)である。さらにデータベースに対する各サブシステムの機能展開から、システムをデータ変換/登録を実装するシステム LSDC(Laser Scanner Data Converter)とそれ以外の機能を実装する LSDPS (Laser Scanner Data Processing System)とに分けてコーディングすることを示した。

4.3.2 節では、データ変換/登録に関するフローを示し、ここで行われる座標変換処理、深度方向のデータ切断処理、データ容量圧縮、ならびにデータ登録処理の概要を説明した。また、蓄積されるデータ種別の整理も行った。4.3.3 節では、可視化プラットフォームの基本的な構成と機能の設計を行い、各種データ処理作業の標準化を図った。最後に、4.3.4 節では、データ解析/可視化処理機能群の基本機構について説明を加えた。

4.4 節では、実際に作成される XML ファイル群の構造と機能について説明を加え、これらを用いて実行されるデータ検索や深度合成の機構を設計した。4.4.1 節では、変換された形状測定データをデータ検索・合成に適した形態で保存し、その保存場所と形式を記録するためのデータ登録管理ログ・ファイル{DataList.xml}の構造を記述し、これを利用した登録・保存方法をフロー図に従いその機構の説明を行った。

4.4.2 節では、データ検索・合成のためにデータ登録時に作成されるプロジェクト管理ファイル{LSDPS.xml}と管理ファイル{STEPxxxxyy.xml}の構造に関して記述し、4.4.3 節においてこれを利用したデータ検索・合成方法の機構をフロー図に従い説明した。

4.5.1 節では、これらの考え方を基に、測定された形状データの変換方法を整理し、-4.11 に流れ図として表すとともに、それぞれの変換処理の概要を示した。また、4.5.2 節ではデータ再配列のデータ補間の実際について示した。当該システムでは測定された形状データを格子型データ構造に置き換えることで、プログラム・コーディングの簡略化を図り、データ検索、ならびに画像描画の高速化を目指した。当該のデータ再配列は、形状測定データを格子型データ構造に変換する処理に当たり、当該処理のロジックの妥当性がシステムの作動効率を支配する。ここでは、測定された形状データを欠落することなく、格子型データ構造へ変換することを目標に最小測定間隔  $\Delta L_{\min}$  から格子寸法を定めた。これに伴い、データが欠落する格子が現れるが、2次元移動平均法によってこれを補間する手法も併せて示し、その補間精度を RGB 画像により検証した。

4.5.3 節では深度切断法の実際を示した。ここでは、再配列された形状測定データを深度対応表に指定された深度で切断するだけの深度切断を採用したが、すでに格子型データ構造にデータが再配列されているため、深度別データ間に不整合は生じない。

さらに、4.5.4 節では、描画対象に合わせて精密描画、ならびに高速描画が行えるよう各種データを間引きする方法と、そのデータ登録・保存方法について示した。ここでは、描画対象領域が広大な場合でも高速描画を可能とすることを目的として、4段階に測定データを圧縮し、表示領域の寸法(表示倍率)に応じて最適な圧縮率で画像表示を行うことを考えた。また、データ圧縮作業をデータ読み込みのたびに行っているのは、全体の処理速度を向上させるこ

とが難しいため、あらかじめ圧縮したデータを作成・保存し、データベース化する手法についても示した。

また、4.6 節では、実装した VMURL 上での 3 次元レーザースキャナーデータの処理機構とその可視化機構の操作方法を取りまとめ、その実用性を示した。

## 5. おわりに

本年度研究では、平成18年度助成研究「Web3D と RDBM を援用した大規模地下開発支援システムの開発報告書」で構築したシステムに、時間管理概念を導入するとともに、超大規模データをシステムに実装し、システムの妥当性を検証した。

これまで、データベースにおいては各種の時間管理概念が導入されたが、それらのほとんどは Digit な時間管理概念であったために、人間のあいまいな時間記憶と親和性が低く、必ずしも実用性の面で成功したとは言いがたい。データベースを検索する人間の時間記憶はあいまいであるのに対し、データベース上に累積された時間データは離散的(discrete)なデジタルデータの集合である。このため、あいまいな時間記憶を頼りにデータへアクセスすることはできず、厳密な時間管理が必要とされた。本研究で提案する柔軟な時間管理概念とは、あいまいな時間記憶をシステムソフト論的なアプローチによりデジタル時間データへと変換することで、このギャップを解消し、検索、ならびにデータ処理を実行しようとするものである。

ここでは、そのアプローチとしてファジィ理論を適用した。すなわち、ファジィの集合作成、基本演算、ファジィ推論、ならびにファジィ積分演算機能を大規模地下開発支援システムで採用した DBMS 上に構築し、これを作動させる構造についての設計を実施した。さらに、当該システムの時間概念をファジィ化するための時間領域の再定義を実施した。ここでは、相対時間参照系を絶対時間参照系の部分分割に写像し、さらに相対時間をも任意の時間間隔に分割することで、時間領域構造を階層化した。さらに、その時間分割  $s$  とその時間区切り  $t$  をファジィ集合化することで、ファジィ理論の適用を可能とする手法を提案した。本年度研究終了時点では、大規模地下開発支援システムデータ実装が未完なため、実データによる提案手法の検証は行えなかったが、モデルデータによるファジィ推論では合理的な推論が実施し得えており、その実用性は高いものと判断する。

また、超大規模システムの実装は、レーザースキャナーによる空洞形状測定データを用いた。このデータを用いて、超大規模データの検索・処理機能を検証するとともに、解析・分析機能の整備拡充を実施し、その実用性を示した。大規模地下支援システムの開発においては、データ処理のためのユーザー・インターフェースを共通化することを目指したが、実務的には個別の処理案件に応じたカスタマイズが不可欠であることが判明したため、当該データ処理に特化したユーザー・インターフェースも作成した。さらに、広域データを円滑に処理するために、画像データを含むデータの圧縮、ならびに合成機能も整備した。これらは、基本的に Google Earth の画像処理機能を参照して作成したが、実務に耐えるシステムが構築されたと考える。

今後、当該システムの実用化と普及に向け、データ実装、ならびにその機能の整備に努める方針である。

# **BUILDING 4-DIMENSIONAL GIS FOR SUPPORTING LARGE- SCALE UNDERGROUND DEVELOPMENTS USING FLEXIBLE TIME MANAGEMENT CONCEPT**

K. Itakura<sup>1</sup> H. Matui<sup>2</sup> H. Yamachi<sup>3</sup>

1Muroran Institute of Technology 2Japan Atomic Energy Agency 3 Sumitomo-Mitsui Construction Co., Ltd.

Large-scale development of underground infrastructure is essential for creating a sustainable society. As underground structures have become more important in society, there is an increasing need for developing a system for effectively managing the enormous quantities of data generated during such projects.

A study of the present system for managing underground construction revealed that logging data is not effectively fed back to the design and construction of underground structures, since data management techniques are obsolete.

In this paper, we propose a data management technique of accessing the relevant data by moving freely in a virtual underground space on a personal computer and develop an actual project management system based on the model of the Mizunami Underground Research Laboratory (Mizunami URL) project.

Information regarding underground development varies with time and so the data management technique must be flexibly designed. Accordingly, the virtual underground space must be four-dimensional, including the time concept.

First, we defined a framework for the time domain that can comprehensively control different time concepts. The time domain is divided into many finite time segments. At the initial stage of each time segment, all information is inherited from the preceding time segment, and only the generation, change, and disappearance of information are recorded in the relevant time segment.

By applying this framework to the data model, we designed the following database structure: all geoscience themes are supposed to be described according to the relational schema among Spatial Data (SD), Frequently Changing Attribute (FCA), and Static Attribute (SA). This description method treats the geoscience object as a linear combination of static information and dynamic information. This method allows static information to be distinguished and managed separately from dynamic information in the database, thus drastically reducing data redundancy.

This database structure also allows a virtual space to be constructed flexibly: the geometric units that constitute a virtual space can be expressed as a linear combination of SA SD, and FAC. Therefore, it is possible to use the database structure designed in this study to construct the virtual space. The user can construct a desired virtual space simply by extracting necessary geometric units from the database and combining them.

In the meantime, it is difficult to control time data appropriately on the database, since the human time memory is unclear. Therefore, it is also difficult to access to the necessary data in the necessary time. For the purpose of complementing unclear time memory of such human, it was considered that the flexible time concept was introduced into development system.

Though various time-management techniques on the database have been proposed until now, either technique has also been designed using the exact time-management concept. In this study, we have tried to solve the problem by processing the unclear human time-management using fuzzy theory in software technique This concept was used to develop a project management system for the Mizunami URL, and the validity of the design philosophy was verified..

**KEYWORDS:** 4-D GIS, fuzzy theory, web3d, RDBMS

## 研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第2006-3号	柔軟な時間管理概念を導入した 4次元GISによる大規模地下開発支援システムの構築	板倉賢一 室蘭工業大学
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>大規模地下構造物は持続可能な社会のための基本的なインフラストラクチャーであるとされる。しかし、社会における地下構造物の重要性が増すとともに、地下開発プロジェクトの場で発生する莫大な情報量を有効に管理することのできるシステムの開発が望まれることとなった。</p> <p>既存の地下構造物施工管理システムを見ると、データ管理方法が陳腐化しているために、採取されたデータが有効に地下構造物の設計・施工へとフィードバックされていないことが明らかとなった。</p> <p>本研究では、パーソナルコンピュータ上の仮想地下空間を自由に移動することで、適切なデータにアクセスすることのできるデータ管理方法を提案し、瑞浪超深地層研究所プロジェクトをモデルとして実際のプロジェクト管理システムを構築する。</p> <p>地下開発に関する情報は時間進行に鋭敏である。したがって、本研究で設計するデータ管理手法も時間変化に柔軟であることが求められる。この意味で、仮想地下空間は時間概念を導入した4次元空間でなければならない。</p> <p>最初に、われわれは異なる時間概念を包括的に管理することのできる時間領域のフレームワークを定義した。すなわち、時間領域を多数の有限なタイムセグメントに分割する。各タイムセグメントの初期状態では、全ての情報が一つ前のタイムセグメントから継承されるが、当該セグメントでは情報の生成・変化・消滅のみが記録される。</p> <p>このフレームワークを関係データモデルに適用することによって、以下のようなデータベース構造を設計した。すなわち、あらゆる地学テーマは幾何学データSD、時間変化する特性FCA、ならびに時間的に静的な特性SAの関係スキームによって記述される。この記述方法は、地学オブジェクトを静的情報と動的情報の一次結合としようとするものである。この方法に従えば、静的情報はデータベ</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>ース上で動的情報と峻別して管理されることとなる。したがって、個別データの冗長性を大きく低減することが可能となる。</p> <p>このデータベース構造は仮想空間の構築を柔軟化することも可能とする。すなわち、仮想空間を構成する幾何学ユニットは幾何学データSD、時間変化する特性FCA,ならびに時間的に静的な特性SAの一次結合として表すことができる。したがって、本研究で設計したデータベース構造を仮想空間構築に適用することが可能となる。この考えに従えば、ユーザーは必要な幾何学ユニットをデータベースから抽出し、それらを組み合わせることで所要の仮想空間を構築することが可能となる。</p> <p>一方、人間の時間記憶はあいまいなため、データベース上で適切に時間管理を行うことは難しい。このため、必要な時間データに、適宜、アクセスすることも難しくなる。このため、人間のあいまいな時間記憶を補完することを目的に、柔軟な時間概念を開発システムに導入することを考えた。</p> <p>これまでデータベース上における各種の時間管理手法が提案されてきたが、いずれの手法も厳密な時間管理概念を用いて設計されている。本研究では、ファジィ理論を用いて人間のあいまいな時間管理概念をソフト的に処理することで問題の解決を試みた。</p> <p>以上の考えに基づいて、瑞浪超深地層研究所プロジェクトを対象としたプロジェクト管理システムを開発し、設計概念の妥当性を検証した。</p> </div> </div>		