

# Web3D と RDBM を援用した大規模地下開発支援 システムの開発

室蘭工業大学 工学部情報工学科  
教授 板倉 賢一

平成19年9月

## 目 次

1. 概説 .....	1
1.1 地下空間利用とその基本特性 .....	1
(1) 地下空間の情報化施工の現在 .....	3
(2) 包括的設計・施工支援システムの意義と本研究の目的 .....	4
1.2 瑞浪超深地層研究所計画の概要 .....	7
参考文献 .....	10
1章用語解説 .....	11
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 .....	13
2.1 概説 .....	13
2.2 大規模地下開発支援システムの要求性能 .....	14
2.3 Web3Dの概要とその特徴 .....	15
2.4 大規模地下開発支援システムの基本構造 .....	16
参考文献 .....	18
2章用語解説 .....	18
3. 大規模地下開発支援システムのための時間フレームワークとデータベース構造 .....	21
3.1 概説 .....	21
3.2 データモデルと関係データモデル .....	22
3.3 時間フレームワークと地学時間情報の表現 .....	25
3.4 データモデルの定義とSQLによるデータモデルの記述 .....	29
参考文献 .....	33
3章用語解説 .....	33
4. RDBMを基礎とした地学情報時空間モデリングの提案 .....	35
4.1 地学データモデリングとデータベース化の概念 .....	36
4.1.1 大規模地下開発支援システムにおける仮想現実空間構造 .....	36
(1) GeoWorldの概念とその構造 .....	36
(2) GeoNetworkの概念とその構造 .....	37
(3) GeoDataSourceとGeoNetwork .....	38

4.1.2 地学モデルのデータベース化	39
4.2 データの可視化機構	41
4.3 仮想世界の幾何学モデル作成	43
4章用語解説	50
5. 瑞浪超深地層研究所をモデルとしたシステム実装の実際	51
5.1 大規模地下開発支援システムの起動と基本構成	51
5.2 Menu Bar に実装されたコマンド群の概要	54
(1) [System]に実装されるコマンド群	54
(2) [Data] に実装されるコマンド群	55
(3) [GeoVizer] に実装されるコマンド群	55
(4) [データ項目] に実装されるコマンド	55
(5) [Query]、[Resources]、[Help]の実装予定	56
5.3 瑞浪超深地層研究所の仮想現実モデル実装	57
5.4 データベースの検索・処理機能	60
6. 報告書の総括	65
Appendix A MySQL の基本的な操作	A-1
A.1 RDBMS の基本操作	A-1
A.1.1 テーブルの作成 <CREATE TABLE>	A-1
A.1.2 テーブルの変更<ALTER TABLE>	A-1
A.1.3 テーブルの削除 <DROP TABLE>	A-2
A.2 データ値の制約	A-3
A.2.1 主キーの指定 <PRIMARY KEY>	A-3
A.2.2 FOREIGN KEY 制約	A-3
A.3 データ操作	A-4
A.3.1 データの入力 <INSERT INTO>	A-4
A.3.2 データの変更 <UPDATE>	A-4
A.3.3 データの削除 <DELETE>	A-5
Appendix B XML の基礎的事項について	B-1
B.1 XML 概論	B-1

B.2 XML の記述法 .....	B-1
B.2.1 XML 宣言とXML インスタンス .....	B-2
B.2.1.1 要素の記述 .....	B-2
B.2.1.2 属性の記述 .....	B-4
B.2.2 DTD( Document Type Definition)の記述方法 .....	B-4
B.2.2.1 要素型宣言 .....	B-5
B.2.2.2 属性リスト宣言 .....	B-5
B.3 検証済み XML 文書と整形 XML 文書 .....	B-6

## 1. 概説

### 1.1 地下空間利用とその基本特性

地下空間は21世紀のニューフロンティア<sup>1),2)</sup>とされ、持続可能な社会発展を担保するために、その開発が不可欠なものとされている。従来、わが国における地下空間利用は交通トンネル等の社会インフラ施設、地下発電所空洞<sup>3),4)</sup>や地下石油備蓄基地等<sup>5),6),7)</sup>のエネルギー施設、ならびに石炭・石灰石を主とする鉱山開発に限定されていたが、近年、地下空間が持つ各種の特性を積極的に利用した地下インフラストラクチャーも整備されつつある<sup>8),9),10)</sup>。

財団法人エンジニアリング振興協会地下開発利用研究センターのホームページ(<http://www.ena.or.jp/GEC/intro/index1.htm>)をみると、表-1.1のような地下空間の利用形態とその事例が紹介されており<sup>11)</sup>、近年、わが国において多様な地下空間利用が発展しつつあることを推測させる。もちろん、表-1.1に示された事例の中には、社会実験的な側面を有する小規模構造物も含まれる。しかし、社会実験においてその有効性が実証されるならば、これを大規模地下構造物へと拡張することは容易である。なぜならば、地下構造物は既存の空洞間を相互に連結・接続することが可能な構造物であり、3次元的な展開・拡張が容易であるという特性を有するためである。

また、地下構造物は時間の経過とともに、利用形態を遷移することも可能である。その例として、岐阜県東濃鉱山と北海道上砂川町に構築された無重力実験施設を挙げることができる<sup>12),13),14),15)</sup>。これらはいずれも鉱山坑道として開発されたが、鉱山稼働率の低下とともに、特異な地下環境を利用して無重力施設への用途変更が成されたものである。東濃鉱山の施設では、深度150mの立坑を利用して平成6年度から約10年間で5,000回を越える落下実験が行われた<sup>11)</sup>。また、砂川町の施設は、高低差710mの立坑内にカプセルを490m自由落下させ、約10秒間の微小重力環境を作り出す物理実験施設であり、多くの研究成果が得られている<sup>12),13),14)</sup>。また、同鉱山においては超大深度地山の高い耐圧性能を生かした圧縮空気エネルギー貯蔵-ガスタービン発電(CAES-GT)のパイロット・プラント<sup>16),17),18)</sup>や、特異な地下環境と高低差を生かした雲物理研究施設等<sup>19),20),21)</sup>も設置された。

このように地下構造物は、時間の経過とともに、その規模や形状が大きく変動するだけでなく、その用途すらも遷移する。言い換えれば、地下構造物は時間変化に柔軟な構造物であり、時間の経過に伴う構造物特性(形状・寸法)の変化を許容する構造物である。

一方、地下構造物施工の対象となる岩盤特性や地山条件、すなわち岩種構成、地質構造、地下水貯存形態、岩石・岩盤力学特性等の地下環境を事前に的確に把握することは著しく困難である。このため、地下構造物施工では、施工過程で得られる各種情報を基に、設計・施工へとフィードバックする観察化施工が広く採用されている。この意味で、地下構造物施工の場では地質環境情報も時間変化に対して可変な情報となる。

以上のような理由から、大規模地下開発の過程では、調査・計画・設計・施工・運営の各ステージにおいて膨大な情報が発生し、この膨大な情報を効果的に収集し、これを、図-1.1の

ように有機的に統合・分析し、適宜、フィードバックすることが、円滑な工事と施設の運営を行ううえで重要となることは言を俟たない。

表-1.1 施設別地下利用事例<sup>11)</sup>

エネルギー施設	揚水式地下発電所	今市揚水発電所(栃木県) 神流川発電所(長野県) 奥多々良木地下発電所(兵庫県) 新高瀬川発電所(長野県)
	地熱発電所	葛根田地熱発電所(岩手県)
	熱・電気・燃料・水供給ライン	東京電力・東西連携ガス導管新設工事(千葉県) 鬼怒川上流ダム郡連携(栃木県) 神戸市大深度大容量送水管事業(兵庫県) 東京ガス扇島工場LNGタンク(神奈川県)
	地域熱供給プラント	中之島三丁目地区熱供給施設(大阪府) 新宿新都市地域冷暖房(東京都)
	燃料備蓄	串木野国家備蓄基地(鹿児島県) 石油国家備蓄倉敷基地工事(岡山県)
交通・物流施設	鉄道・地下鉄	名古屋市営地下鉄名城線大幸車庫(愛知県) 東急東横線[東白楽～横浜駅](神奈川県) 南北線[白金高輪駅](東京都) 都営大江戸線[麻布十番駅](東京都)
	地下駐車場・駐輪場・歩行者通路	上野地下歩行者専用道路及上野広小路駐車場(東京都) 麻布十番駅公共駐車場(東京都) クリスタ長堀・長堀駐車場(大阪府) 船橋駅北口地下駐車場(千葉県) 新宿歩行者専用地下通路(東京都)
	トンネル	大阪港夢洲トンネル工事(大阪府) 高速湾岸線沈埋トンネル(神奈川県) 舞子トンネル工事[本州四国連絡道路](兵庫県)
教育・スポーツ・文化施設・史跡	瑞浪市地球回廊(岐阜県) 大阪市中央体育館(その2)(大阪府) 大谷石採掘跡施設[大谷資料館](栃木県) 旧海軍極秘地下施設(神奈川県) 根尾谷断層[地震断層観察館](岐阜県) 高山祭りミュージアム[地中大空間](岐阜県) 大阪市中央体育館[その1](大阪府) 真言宗本福寺水御堂[地下式寺院](兵庫県)	
鉱山・観光坑道	佐渡金山(新潟県) 中竜鉱山跡[アドベンチャーランド中竜](福井県) 柵原町坑道活用農業施設[ふれあい鉱山資料館](岡山県) 史跡 生野銀山[シルバー生野](兵庫県) 豊羽鉱山(北海道)	
処理・処分施設	北部第二下水処理場(神奈川県) 葉山浄化センター[その2](神奈川県) 葉山浄化センター(神奈川県) 幕張新都心ごみ空気輸送設備[幕張クリーンセンター] (千葉県)	
防災・洪水調節	大阪府寝屋川南部地下河川一若江調節池築造工事(大阪府) 神田川・環状7号線地下調節池(東京都) 首都圏外郭放水路(千葉県) 渋川雨水貯留管(神奈川県)	
研究開発施設	瑞浪超深地層研究所(研究坑道)(岐阜県) 東濃地科学センター(東濃鉱山)(岐阜県) ミニドーム(大深度地下空間技術開発実証試験場)(神奈川県)	
商業・産業施設	京都御池地下街(京都府) ㈱ケンマツウラレーシングサービス[半地下式精密機械工場] (株)ミツヨ[地下研究所](栃木県) (愛媛県)	

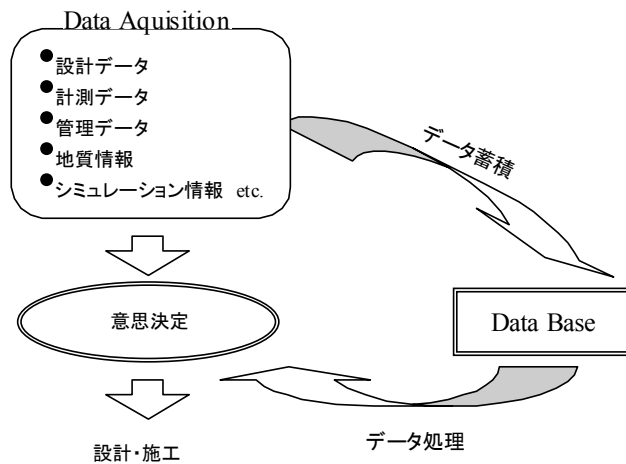


図-1.1 建設プロジェクトにおける各種情報の蓄積とフィードバック

しかしながら、大規模地下開発の場で収集・蓄積される情報は膨大な量に達し、個人の管理能力を超えるため、コンピュータ等の情報処理機器を利用し、これを管理する手法を確立することが重要となる。このような背景から、地下構造物施工の場ではこれまで多くの設計・施工支援システムが構築されてきた。

### (1) 地下空間の情報化施工の現在

1980年代前半の NATM の導入は、トンネル施工における観測化施工の標準化を促進した<sup>22)</sup>。この時期は、パーソナルコンピュータの爆発的な発展と時期が重なったこともあり、現場計測を援用した計測管理システムの導入がトンネル施工の合理化に不可欠なツールと考えられ、急速に普及していった。ところが、それから 20 年が過ぎた今日、観測化施工が地下構造物施工に占める地位は相対的に低下しつつあり、今日、トンネル施工実務の場において日常的に実施される観測項目は、内空変位計測と切羽観察の 2 項目にしか過ぎないといえる状況となった。

その理由としては、観測により得られた情報を設計・施工へフィードバックする手法が十分に整備されなかったこと、ならびに観測に要する経費や人的・時間的資源 (Cost) に対し、得られる利益 (Benefit) が余りにも低いこと等が挙げられる。内空変位計測と切羽観察の 2 項目は、施工に対する経済面での負荷や施工サイクルへの影響が相対的に小さいこと、ならびに地山の安定性評価<sup>23),24)</sup>や支保パターン変更<sup>25),26)</sup>へのフィードバック手法がある程度整備されていることから、今日もトンネル施工の場に活用されているものと推測される。

また、これまでの計測管理システムが処理し得る情報は現場計測で得られるデジタルデータに限定されていたため、土木工事において発生する多様な情報群とは独立した系の情報処理システムであった。当然のことながら、トンネル工事においては、上記の情報のほかに地質環境情報、設計情報、施工情報等の多様な情報が発生する。合理的な設計施工を実現する

ためには、これらを力学的観点からのみではなく、経済性や工学的安全性等の多角的な観点から情報処理し、設計・施工上の意思決定を行うプロセスが重要となる。

この観点からすると、計測管理システムが導き出す情報処理結果は、意思決定過程を構成する要素の一つであるべきにもかかわらず、計測データがデジタルデータとして処理可能なため、初期の情報処理機器との相性が良く、設計・施工の意思決定に過重な比率を占めていた時期があったように思われる。また、その後の情報処理機器の発展に係わらず、トンネル施工の場では、古典的な観測化施工の概念、言い換えれば現場計測と切羽観察にのみ基づいた設計・施工の意思決定から脱却することができなかつたために、問題解決手段としての現場計測の地位が低下したともいえよう。

このような中であって、国土交通省は情報処理技術の飛躍的な発展を踏まえ、情報化技術を建設施工に適用し、多様な情報の活用を図ることにより施工の合理化を図る生産システム(情報化施工技術: Intelligent Construction System)の開発と導入を2001年に提唱した<sup>27),28)</sup>。これを受けて多くの情報化施工技術の開発と適用が試みられたが、助成研究者らは地下構造物施工の場に情報技術を包括的に導入することで観測化施工の新しいパラダイムを構築する試みを提案した<sup>29),30)</sup>。

ここで助成研究者らが開発を提唱した技術群は大きく二つに分類される。その一つは、従来の計測機器では測定されることのなかったトンネル施工におけるさまざまな諸元を情報として収集する Data Mining 技術である。これは、施工の場にある技術者の経験や感性を意思決定に反映しようとする試みであり、トンネル施工等で汎用的に用いられる油圧削岩機の作動情報から、対象とする岩盤の力学特性や地質構造を同定し、3次元コンピュータグラフィックによりこれを再構成する手法等がすでに実用化され、多くのトンネル施工現場に適用されている<sup>31),32),33)</sup>。

また、もう一つは地下構造物施工の場で発生する多様な形態の情報を包括的に管理し、これを多角的・網羅的に処理・分析することのできる情報統合プラットフォームの構築である。本報告書は、その一つの試みとして、Web3D<sup>i)</sup>と関係データベース管理システム(以下、RDBMS: Relational Data Base Management System)<sup>ii)</sup>を援用した大規模地下開発支援システムの設計を実施するとともに、そのデータ実装を瑞浪超深地層研究所計画をモデルとして実施するものである。

## (2) 包括的設計・施工支援システムの意義と本研究の目的

地下構造物施工におけるエンジニアリングは、未だ技術者の経験に依存するところの大きい経験エンジニアリングであるとされる。いま、工学的な経験の蓄積過程を考察すると、それは単に技術者の遭遇した事象がそのまま記憶として蓄積されるのではなく、遭遇した事象をその技術者の有する力学的知識や工学的素養によって整理・分析された因果律が記憶として蓄積されると考える。

この意味において、NATM とともに現場計測を主体とした観測化施工は、技術者の観察を



定量化し、その因果律の定式化を目的とした初めての試みであった評価される。しかし、それが処理対象とする情報が、工学的に定量化可能な情報に限定され、その処理システムが他の情報と独立して発達した点に、問題解決上の限界を内包したものであると思われる。例えば、従来の現場計測管理システムでは、現場計測で測定される地山変位や支保部材応力等の大きさを評価することはできても、その発生メカニズムを詳らかとすることは困難であった。これは、その発生要因である地質環境情報や施工情報等から独立した情報処理システムであったために、その相関を明らかとすることが難しかったためであると考えられる。地下構造物の解析的な設計は、地山変位や支保部材応力の発生メカニズムに基づいて実施されるため、発生メカニズムを解析的な設計へとフィードバックすることはできない。

このように、蓄積された情報の処理は、個別の情報を分析するだけでなく、情報相互間の因果率を詳らかとすることで、有用な情報を得ることが可能となる。言い換えれば、情報相互間の因果律は隠された情報であり、これを詳らかにし得る機能が地下構造物設計・施工支援システムに要求されることとなる。特に大規模地下開発における設計・施工支援システムはこの機能が重要となる。

今日、トンネル施工で汎用的に用いられている地山分類に基づく支保パターン設計は、切羽観察を基に岩石強度や割れ目間隔、走向・傾斜、湧水状況等を点数化することで、対象とする地山を分類し、これに適合するトンネル支保パターンを過去の施工事例から抽出する手法である。この手法には、力学的ファクターが介在しないが、点数化することによって地質要因と地山安定性の因果律を統計的に明らかとしたため、観察結果の設計へのフィードバックを可能とした。しかし、残念なことにこの手法はあらゆる地下構造物に適用されるものではなく、比較的類似した道路トンネルと鉄道トンネルでも、その点数化方法や支保パターンに大きな違いがある<sup>34)</sup>。

このような理由から、大規模地下構造物施工では発生する情報から、それぞれ独自の因果律を可及的速やかに同定し、その精度を改善しつつ設計・施工へフィードバックすることが望まれ、これを可能とすることのできる情報処理システムが不可欠となる。すでに電力施設等の大規模地下構造物等では、独自の地山分類とそれに基づく支保パターン設計が設定されることが一般的である。

さらにすすめて、本研究ではこれまでに情報として収集・蓄積されることのなかった情報をもデータとして取り扱うことを考える。例えば、湧水下のトンネルでは重機の稼働音が低音となることは知られている。これは湧水によってトンネル坑内の湿度が高くなるためであり、重機稼働音はトンネル周辺の地下水状況の重要な情報となり得ることを示すものである。従来の情報処理技術ではこのような音声情報や画像情報をデジタルデータとして収集・蓄積・処理することが、技術的にも難しく、経済的にも負担の大きいものであった。しかしながら、今日のパーソナルコンピュータの高性能化や携帯電話の多機能化の現状は、日常生活において音声情報や画像情報の活用を可能とするものであり、これらのデータ処理に多大な負荷を要することがないことは容易に想像される。

地下構造物は現地の一品生産品であるため、その機能は多様なものであり、これに従いその構造も多様な形態をとる。一方、これが対象とする地山も現地の一品材料であり、その特性や地質構造は各地点において複雑で特有なものとなり、今日の技術ではこれを工学的な精度で調査することは不可能である。したがって、調査・設計・施工の段階で発生する膨大な情報を効率的に管理・処理するシステムが不可欠となる。特に、大規模地下開発の場合では、その唯一性がより大きいため、その重要性は高い。

本研究は、RDBMSとWeb3Dを援用することで、大規模地下開発の場合で発生する多様な情報をあまねく管理することができ、かつ直感的なデータアクセスと効率的なデータ処理・分析を可能にするシステムを設計することにある。この目的のため、本報告書では時間軸を考慮したRDBMS構造の設計を実施するとともに、ユーザー・フレンドリーなヒューマン・インターフェースを構築することで、情報間に隠された因果律を効果的に抽出し、設計・施工へとフィードバックすることのできる地下開発支援システムのフレームワークを設計する。

なお、1.1節で示したように、地下構造物の形態や用途は固定されたものではなく、時間経過に伴い変遷する。したがって、これに付随して発生する情報のデータ特性も時間に柔軟なものとなる。このような情報特性を考慮すると、そのデータ管理もまた時間に柔軟な構造であることが要求される。しかしながら、本報告書では時間変化を許容し得るシステムのフレーム・ワークと、時間軸を考慮したRDBMS構造を設計するに留め、データ特性の時間依存性については考慮しないものとした<sup>1</sup>。

また、本研究では、現在、わが国で最も大規模な地下開発プロジェクトの一つである瑞浪超深地層研究所構築工事<sup>35),36),37)</sup>をモデルプロジェクトとし、当該プロジェクトでこれまでに採取された各種データをシステムに実装することで、設計したシステムの実務的な実用性を検証するものとした。次節に、その概要を示す。

---

<sup>1</sup> これは、計測データのような時間に依存したデータを取り扱わないという意味ではなく、時間変化とともにその形状や特性が変化するデータを管理の対象としないという意味である。

## 1.2 瑞浪超深地層研究所計画の概要<sup>35),36),37)</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。

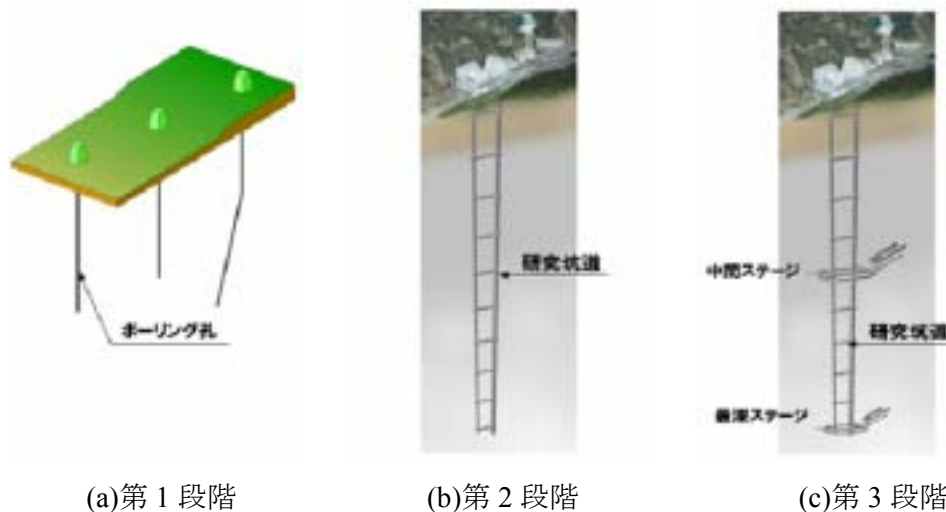


図-1.1 瑞浪超深地層研究所における研究段階<sup>36),37)</sup>

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>37)</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>37)</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>36),37)</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 1,000m

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) 坂田 龍松:暮しをかえる大深度地下の空間利用, につかん書房, 1989.
- 2) 地下空間利用研究グループ, 地下都市—ジオ・フロントへの挑戦, 清文社, 1989.
- 3) 小林順二, 鶴田 滋, 江川顕一郎, 池尻 健:地下発電所の維持管理におけるモニタリング手法の一提案, 地下空間シンポジウム論文・報告集, Vol.9, pp.49-58, 2004.
- 4) 打田靖夫, 石田毅, 田仲正弘, 西川直志:AE測定による岩盤斜面と地下発電所空洞の施工管理, 地盤工学会誌(土と基礎), Vol.50, No.6, 2002.
- 5) 城代 邦宏, 植出 和雄, 本多 眞, 長谷川 誠, 小島 圭二, 小川 輝繁:地下石油岩盤タンクにおける水封機能の健全性評価手法に関する研究, 土木学会論文集C, Vol. 63, No. 2, pp.624-634, 2007.
- 6) 奥野 哲夫, 植出 和雄, 西 琢郎, 宮下 国一郎, 長谷川 誠, 地盤工学研究発表会:水封式岩盤タンク周辺の比抵抗分布推定による岩盤の健全性評価方法の検討, 発表講演集, JGS37, pp.1263-1264, 2002.
- 7) 大規模空洞掘削時の岩盤挙動と地下空間利用の展望, 日比野敏, 資源と素材, Vol.117, No. 3, pp.167-175, 2001.
- 8) 山地宏志, 芥川慎一:諸外国における地下大空洞, 地盤工学会誌(土と基礎), Vol.46, No.6, pp.31-33, 1998.
- 9) 松尾稔, 林 良嗣, 岡部治正, 土井健司, 京谷孝史, 奥田隆明, 辻本 誠, 梨本幸男, 田村武:都市の地下空間, 鹿島出版会, 1998.
- 10) 青山ヤスシ, 古川公毅:図解東京の地下技術-地面の下は「知」の結集, 「技」の競演-, かんき出版, 2001.
- 11) <http://www. enaa.or.jp/GEC/intro/ index1.htm>
- 12) 無重量セミナー実行委委員会編:平成 17 年度 MGLAB 創立 15 周年・実験正接運用開始 10 周年記念無重量セミナー予稿集, (株)日本無重量総合研究所, 2005.
- 13) 野村貢, 山地宏志, 櫻井春輔, 芥川真一, M.U.Ozbey: Man at the great depth -第3回超深度地下利用の新しい展開-, 岩の力学ニュース, 岩の力学連合会編, No.52, pp.3-6, 1999.
- 14) 小出彰:地下無重力実験センターの微小重力環境 10 秒間の高精度落下実験施設, 日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.18, No.3, pp.136-139, 2001.
- 15) 桜井誠人:日本の落下坑とドイツの落下塔, 日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.18, No.3, pp.140-144, 2001.
- 16) 西本吉伸, 山岸良夫, 本江誠治:高応力繰返し载荷条件下における岩石物性について—圧縮空気貯蔵発電の地下貯蔵空洞周辺岩盤に関して—, 岩の力学国内シンポジウム講演論文集, No.9, pp.277-282, 1994.
- 17) 高木慎悟, 西本吉伸:CAES-G/Tに適用する原位置貯蔵試験施設の解体調査による周辺岩盤のゆるみ調査, 岩の力学国内シンポジウム講演論文集, No.10, pp.617-622, 1998.

- 18) 山地宏志: 圧縮空気貯蔵(CAES)における岩盤試験・計測, 第10回岩盤システム工学セミナー「岩盤試験・計測結果の利用の現状と課題」, (社)システム総合研究所岩盤システム工学委員会, pp.327-345, 1993.
- 19) 山田正, 檜山和夫, 平野廣和: 鉱山の長大立坑を利用した実スケールの雲物理実験と地球規模の気象予測手法の開発, [http://www2.tamacc.chuo-u.ac.jp/tise/research\\_new/gakuji/1995yamada.html](http://www2.tamacc.chuo-u.ac.jp/tise/research_new/gakuji/1995yamada.html), 1995.
- 20) 山田正, 檜山和夫, 平野廣和: 実スケール雲物理実験装置を用いた酸性雨の生成過程及び大気中の雲粒・ガス・エアロゾル粒子間の化学的相互作用の解明, [http://www2.tamacc.chuo-u.ac.jp/tise/research\\_new/gakuji/1997yamada.html](http://www2.tamacc.chuo-u.ac.jp/tise/research_new/gakuji/1997yamada.html), 1997.
- 21) [http://www.em.csiro.au/mine\\_engineering/research/projects/3d\\_visualisation/](http://www.em.csiro.au/mine_engineering/research/projects/3d_visualisation/)
- 22) 「情報化施工技術総覧」編集委員会: NATMにおける予測と実際(地盤工学・実務シリーズ9), 産業技術サービスセンター
- 23) 櫻井春輔: 情報化施工における逆解析, 土木学会論文集, No.651/III-51, pp. 1-10, 2000.
- 24) S. Sakurai, K. Adachi, A. Takeishi and T. Iwasaki: An evaluation technique for slope stability based on displacements measured at the slope surface, Proc. 6th Int. Sympo. Field Measurements in Geomechanics, Oslo, pp. 321-328, 2003.
- 25) 寺戸秀和, 中田雅博, 中川浩二: 切羽観察記録から支保パターンを決定するための一手法の検討, 山口大学工学部研究報告, Vol.49, No.1, pp.49-56, 1998.
- 26) 清水則一, 櫻井春輔: ファジー理論を用いた岩盤分類の構成方法に関する研究, 土木学会論文集, Vol.370/III-5, pp.225-232, 1986.
- 27) 建設省情報施工促進検討委員会: 情報化施工のビジョン-21世紀の建設現場を支える情報化施工-, 建設省情報施工促進検討委員会編, 2001.
- 28) 国土交通省総合政策局建設施工企画課: 情報化施工のビジョン-21世紀の建設現場を支える情報化施工-」について, [http://www.milt.go.jp/kisha/kisha01/01/010330\\_.html](http://www.milt.go.jp/kisha/kisha01/01/010330_.html), 2001
- 29) 櫻井春輔, 板倉賢一, 岡野成敏, 山地宏志: トンネル観測化施工の新しいパラダイムを目指して, 地盤工学会誌'土と基礎', Vol.52, No.1, pp.19-21, 2003.
- 30) 岡野成敏, 櫻井春輔, 板倉賢一, 山地宏志: IT を利用したトンネル観測化施工, 韓国地盤工学会誌, Vol.21, No.1, pp.8-18, 2005.
- 31) 板倉賢一, : 炭鉱の坑内保安と情報化技術, 資源・素材関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, B3-4, pp.177-181, 2005.
- 32) 板倉賢一, 岡野成敏, 山地宏志: 情報化によるトンネル施工法および支保工の最適化に関する研究, 平成12年度財団法人先端建設技術センター研究開発助成報告書, 助成番号:1204, 2001.
- 33) 櫻井春輔, 板倉賢一, 山地宏志: 情報化によるトンネル施工法および支保工の最適化に関する研究, 平成13年度財団法人先端建設技術センター研究開発助成報告書, 助成番

号:1302, 2002.

- 34) ジェオフロンテ研究会先行補強分科会ボルト設計施工ワーキング・ボルト新技術ワーキング: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, 2006.
- 35) 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.
- 36) 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.
- 37) <http://www.jaea.go.jp/04/tono/miu/mium.html>

## 1 章用語解説

---

- i Web3Dとは、Web 上での 3 次元グラフィックスの表示とその仕組みの総称である。特に、3 次元物体をユーザーが自由に操作して、拡大や縮小、全方向への回転などが可能であるような技術を指す場合が多い。Cult3D、Pulse3D、Viewpoint、Shockwave3D などが Web3D に該当し、オンラインショッピングなどで活用され始めている。
- ii リレーショナルデータベースマネジメントシステム (relational database management system, RDBMS) とは、エドガー・F・コッドが提唱した関係モデル (リレーショナルモデル) に基づいた、コンピュータのデータベースマネジメントシステム (DBMS) である。RDBMS によって構築するデータベースを、リレーショナルデータベースという。関係モデルにおける「関係」(リレーション) は、一般には「表」(テーブル) と呼ばれることが多い。2007 年現在、RDBMS は最も一般的に使われているデータベースマネジメントシステムである。いくつかの RDBMS では、オブジェクト指向の機能拡張を行っている。このような RDBMS は、ORDBMS と呼ばれる (オブジェクト関係データベース)。RDBMS とされるシステムの多くは、データベース言語として SQL を採用している。



## 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

前章において、大規模地下開発の場で発生するデータを包括的に管理・処理することの重要性を示し、これを可能とするために RDBMS を援用した開発支援システムを設計をすることを提案した。しかしながら、RDBMS は単にデータ管理とその演算を司るシステムであり、データへのアクセスはフィールド項目と関連付けられたキーワード検索によることが一般的である。

ところが、大規模地下開発の場で発生するデータ量は膨大であるため、データを適切に検索するキーワードの設定が著しく困難となる。また、これらの情報は、刻々と更新・蓄積されることが一般的であり、これまでの個別処理では、適切な情報の評価と迅速な判断が難しい。このため、直感的に必要な情報にアクセスすることのできるユーザー・インターフェイスと、必要な情報を包括的に処理することのできる演算エンジンが必要となる。

このような問題にひとつの解決を与えるのが、仮想現実技術(Virtual Reality)<sup>1)</sup>と RDBMS を連携させる技術の導入である。すなわち、対象とする大規模地下開発の仮想現実空間、ならびに仮想時間をパーソナルコンピュータ上に構築し、その中でこれまでに蓄積された各種情報へとアクセスし、情報を種々に加工することで意思決定を助けようとするものである。これは、あたかも施工現場内を移動するがごとく仮想空間内を移動し、情報を必要とする時点にさかのぼり、求める情報にアクセスする手段であり、最も効率的で直感的な情報管理手法と方法と考える。

そこで、本研究では Virtual Design and Construction(以下、VDC と略す)<sup>1),2)</sup>の手法を援用し、地下開発の場で発生する膨大なデータを管理・処理するシステムの設計とその実装を提案する。VDC は、建設分野において、仮想現実技術を利用して施工の意思決定支援、代替案提示、工程管理などを円滑に行うことを目的として開発が進められる技術であり、設計図面と現地の地形・景観を基にした3次元コンピュータ・グラフィックモデルを作成し、構造物の施工過程を与えられた施工計画に準じてコンピュータ画面上で再現し、設計・施工上の問題点や不具合を抽出するとともに、その解決案を VDC 上でシミュレーションすることで解決法を決定するシステムの総称である。VDC は未だ確立した情報処理システムではなく、その概念が文献1),2)等に例示的に示されているだけであり、地下構造物に関する適用事例は現在のところ見当たらない。したがって、地下構造物施工に不可欠な現場計測や地質観測などを、どのようにその系に導入するかが、重要な課題となる。

本章では、この目的のため、次節2.2において当該システムの要求性能を示し、これを実現するために導入する仮想現実技術の概要とその特徴を2.3節に示す。さらに、2.4節において大規模地下開発支援システムの基本構造を示す。

## 2.2 大規模地下開発支援システムの要求性能

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
- ② 地質、環境等の不完全な可視化と理解
- ③ 対話性(interactive)の欠如
- ④ データ統合と3次元表示のレベルが低い
- ⑤ 多くの独立したシステムの存在
- ⑥ 高額なシステムのカスタマイズ
- ⑦ 意思決定に時間を要する
- ⑧ システム理解の教育に時間と多額の費用を要する etc.

前述したように、大規模地下開発の場合には各種の異なる情報を包括的に、かつ対話性を確保して処理することが要求される。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、システム構築に多大な投資を行うことは難しい。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、その償却が難しい。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を構築する必要がある。このような、情報処理技術発展の状況と、上述の現状システム類の不具合から、大規模地下開発支援システムに要求される1次の要求性能が以下のように規定される。

- 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・インターフェー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で、親和性の高い (**User Friendly**)システムと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、ビデオ、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、意思決定を助けようとするものである。

### 2.3 Web3D の概要とその特徴

前節で示したシステムの要求性能は、今日、Web 上で Web3D と呼ばれる映像技術、例えば VRML(Virtual Reality Modeling Language)<sup>ii</sup>や X3D(eXtensible 3D)<sup>iii</sup>等の言語で実装される仮想現実技術によりほぼ具現化されている。ここで、VRML と X3D は、WWW(World Wide Web)<sup>iv</sup>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。

X3D は eXtensible という名の通り、容易に拡張できるように設計されており、コアの部分は小さくすることが可能で、必要に応じて閲覧ソフトを軽量に実装することが可能である。さらに X3D の最大の特徴は XML<sup>v</sup>化されたことにあり、VRML に比べると、学習するうえで負担が非常に小さく、プラグ・インも相対的に軽い。しかしながら、X3D の最終規格は汎用言語としての承認を待つ段階にあり、今後規格の変更等が予想される。また、X3D を操作するブラウザも、現在、汎用の規格は提唱されていない。

このため、当該システム的设计に当たっては VRML から X3D への継承性を生かし、システムを X3D への移植を見越して VRML で構築することが実用的であると判断した。なお、X3D ではサポートされるものの、VRML でサポートされない機能については、そのドライバーを C/C++により独自に作成することとした。

VRML/X3D を用いてシステムを開発するという事は、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である。また、VRML/X3D そのものが、前述の超大深度立坑の崩壊予測・監視システムに求められる 1 次の要求性能をほぼ満たしていることがわかる。したがって、以下のような特徴を持つシステムの構築が可能となる。

- 1) インターネット・ブラウザにプラグ・インすることにより動作(Open Source, Free Soft)
- 2) 習得が容易、かつ記述が比較的容易
- 3) ダッシュボードの機能(視点選択, 視点制御, Object 選択等)

## 2.4 大規模地下開発支援システムの基本構造

図-2.1 に VRML/X3D を用いた大規模地下開発支援システムの構造概念図を示す。図において、A の仮想空間は VRML/X3D によって構築された瑞浪超深地層研究所の 3 次元コンピュータ・グラフィックス空間 (以下、CGS と呼ぶ) である。構築された CGS 内を、ユーザーはキーボード、あるいはマウスによって視点を制御することで、CGS 内をあたかも歩行するかのよう移動することが可能となる。そして、この操作により、情報を必要とする地点へと移動することとなる。

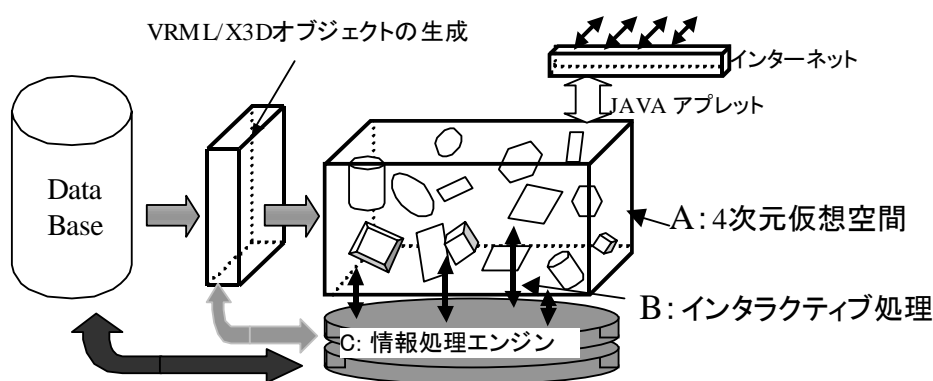


図-2.1 X3D を用いた超大深度立坑の崩壊予測・監視システムの構造概念図

このとき、この CGS が時間情報と連動するならば、CGS はその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に応じた形状に CGS が描かれる。この場合、仮想空間は時間軸をも包括するという意味で 4 次元仮想空間と呼ばれ、情報へのアクセスを空間上だけでなく、時間上をも移動し、情報を必要とする時間と地点に移動することが可能となる。したがって、VDC の構築はこの仮想空間を構築することから始まり、次に仮想空間内を移動するための視点制御方法を構築しなければならない。

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。当然のことながら、データの取り出しと、その処理はデータベース上に蓄積されたデータに対してのみ可能である。したがって、VDC を構築するためには仮想空間の構築のほかに、処理を実施するデータ項目の整理と、その処理方法、ならびにその表示方法を設計せねばならない。

以上のようなシステム開発アプローチは図-2.2 のように概念的に図化することが可能となる。すなわち、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

を用いて設計され、③は Web3D によって設計される。

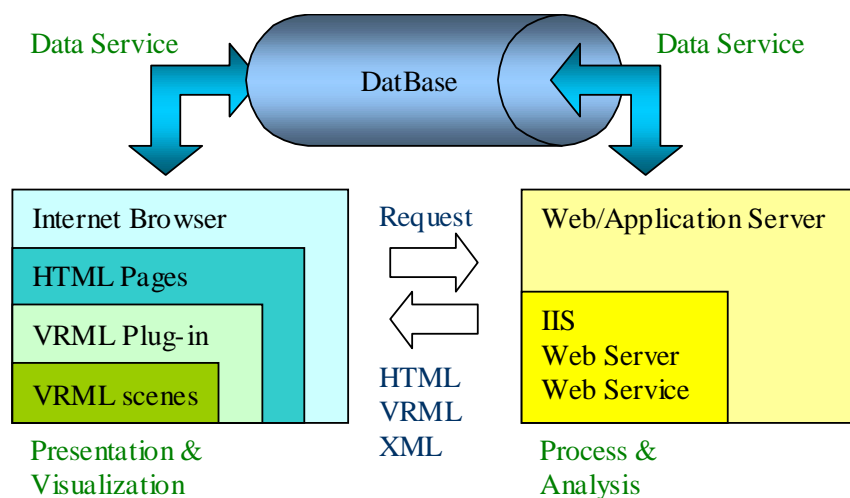


図-2.2 今回開発するシステム開発フレームワーク

したがって、システムは Web 上に構築されることになり、各機能間のデータのやり取りは XML 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、SOAP により、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、SVG により 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>3),4),5)</sup>。

以下では、将来的な機能の拡張性を確保しつつ、本研究の目的とするところを可能とするデータ管理・処理方法とデータベースへの時間概念の導入について3章で、また4章において具体的な仮想空間の設計方法を述べるものとする。

## 参考文献

- 1) Martin FISCHER and John KUNZ : The scope of information technology in Construction, 土木学会論文集, No.763/VI-63, pp.1-18, 2004.
- 2) Martin FISCHER and John KUNZ(矢吹信喜訳):建設における情報技術(IT)の役割と展望, 土木学会論文集, No.763/VI-63, pp.19-31, 2004.
- 3) Erl, T.: Service-oriented Architecture - Concepts, Technology, And Design-, Prentice Hall, 2005.
- 4) Eric Van Der Vlist: Xml Schema, Oreilly & Associates Inc, 2005.
- 5) 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.

## 2章用語解説

- <sup>i</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。単に「人工的な現実感」といった場合には、例えば小説や映画といったメディア表現も含まれるが、VR の構成要件としては以下の要素が必要とされる。体験可能な仮想空間(virtual world)の構築、五感(のうちのいくつか)に働きかけて得られる没入感(immersion)、対象者の位置や動作に対する感覚へのフィードバック(sensory feedback)、対象者が世界に働きかけることができる対話性(interactivity)の 4 つである。うしろの 3 つを構成要件する場合もある。この基準に照らせば、例えば小説には視聴覚による没入感が欠け、映画には対話性が欠けるため、VR とはみなされない。
- <sup>ii</sup> WWW 上で 3 次元グラフィックスを表現するための言語。1994 年にスイスのジュネーブで開かれた第 1 回 WWW 国際会議で提唱され、Silicon Graphics 社の技術を応用して VRML1.0 仕様が策定された。1.0 では静的な空間しか表現できなかったが、その後策定された VRML2.0 ではオブジェクトに動きが加えられるようになった。VRML2.0 は 1998 年 1 月に ISO によって VRML97 として標準化された。
- <sup>iii</sup> X3D とは、Web 上で 3 次元グラフィックスを表現するための言語のひとつで、VRML の後継規格となる 3 次元映像技術をさす。X3D 以前に主流であった VRML (Virtual Reality Modeling Language) は、ISO の国際標準規格として承認されていたが、その仕様が複雑すぎる難点があった。そのためプラグインも巨大なものとなり、使いこなすための技能も高度な習熟を必要とされるなど、何かと扱いづらいものであった。X3D では、VRML の短所が見直され、全体的なコンパクト化によって軽快に動作するように設計されている。具体的には、まず最低限必要となる中核的部分の仕様のみを重視し、そのほかはエクステンションとして必要に応じて拡張できる (extensible) という形態がとられている。  
X3D と VRML は互換性を持っており、既存の VRML データからの移行も容易になっている。X3D はマークアップ言語である XML との連携が可能であり、また映像データ圧縮方式である MPEG4 の 3 次元表示機能としても採用されるなど、移行は着々と進んでいる。
- <sup>iv</sup> WWW (World Wide Web) : インターネットやイントラネットで標準的に用いられるドキュメントシステム。欧州核物理学研究所(CERN)の Tim Berners-Lee 氏が所内の論文閲覧システムとして 1989 年に考案したものを基礎としている。広く一般に公開されたのは 1991 年のこと。HTML という言語で文書の論理構造や見栄えを記述し、文書の中に画像や音声など文字以外のデータや、他の文書の位置(ハイパーリンク)を埋め込むことができる。インターネット標準のドキュメントシステムとして 1990 年代中頃から爆発的に普及し、現在では世界規模での巨大な WWW 網が築かれている。インターネットで最も多く利用されるアプリケーションである。WWW で用いられる技術については W3C が標準化にあたっている。
- <sup>v</sup> XML (eXtensible Markup Language) : 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 はユーザー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。もともと、同じく独自のタグを指定可能な「SGML」のサブセットとして考案され、任意のデータを HTML と同様の感覚で送受信できることを目標に作成されたものである。XML はその性質上、他のマークアップ言語の骨組みとして使用されることが多い。XML ベースのマークアップ言語としては、リモート経由で他のコンピュータのサービスを

---

呼び出す SOAP や、Web 上でベクター画像の表現を行う SVG が有名。

XML はコンピュータ同士でのデータの送受信に使用できるほか、Web ブラウザで直接閲覧することも想定されている。XML を Web ブラウザで快適に閲覧するための仕様として、XML 文書を Web ブラウザで見た場合の表現を記述する XSL や、ハイパーリンク機能を実現する XLink/XPointer などが用意されている。

XML や XML ベースのマークアップ言語の構造については、SGML や HTML と同じく、スキーマ言語の一つである DTD によって定義することになっている。しかし、DTD は SGML での使用を前提にして策定されたために XML との親和性が低く、W3C ではこの欠点を解消した XML Schema を策定中である。

このほか、DTD に代わるものとして RELAX という国産のスキーマ言語も提唱されている。ちなみに、HTML を XML の仕様内で書き直し、XML パーサでの処理を可能にするなどの改良が行われたものが XHTML である。





### 3. 大規模地下開発支援システムのための時間フレームワークとデータベース構造

#### 3.1 概説

前章までに、本研究で設計を行う大規模地下開発支援システムの目的と、基本的な構成を示し、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。

これまでも幾度か触れたように大規模地下開発の場では、調査・設計・施工・運営のそれぞれの段階で膨大な情報が発生し、これを効率的、かつ機能的に収集・蓄積・処理することが、合理的な施設の構築や維持・管理に直結する。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)だけでなく、切羽進行や現場計測データ、さらには設計変更図面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 と親和性が高く、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ため、実用的な大規模地下開発支援システムを設計することは望むべくもない。このため、当該システム設計に当たっては分散型の柔軟なタイム・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。

本章は、以上のような目的で導入する時間フレームワークを設計するとともに、これに従ったデータモデルの定義と SQL によるデータモデルの記述を示すものである。このため、3.2 節において RDBMS の基本概念である関係データモデルの概要とその改良モデルについて述べ、3.3 節で当該設計に導入した分散型タイム・セグメント方式とそれに関連付けられたデータベース構造の設計を行う。さらに、3.4 節にその具体的なデータモデルの定義と、SQL によるデータモデル記述を示す。

### 3. 2 データモデルと関係データモデル

大容量磁気式記憶装置が開発されて以降、実用的なデータベース管理システム (DBMS) が誕生するまでの間、採取されたデータは特定のフォーマットでファイルに記録され、これを保存することだけが唯一のデータ管理方法であった(図-3.1(a))。また、そのデータ処理はデータファイルを読み込み、特定の処理が記述された解析コードを実行することとどまっていた<sup>1)</sup>。

しかし、その後、DBMS の普及に伴い、多層的なデータ管理が可能となり、データ処理の自由度も飛躍的に向上した。このような DBMS におけるデータ管理・処理では、多様なデータを包括的、かつ統一的に管理することで、効率的な処理を可能とするデータ管理方法が求められ、種々のシステム設計が考案された。その過程において、機能に重点を置いたシステム設計の限界が露呈し、データそのものを中心に据えた設計手法 (DOA : Data Oriented Approach) が提唱され、データモデルの重要性が認識されることとなった。

データモデルとは、実世界の情報をモデル化することで、データ、データ間関係、データのセマンティックス<sup>1)</sup>、ならびに整合性制約を記述する概念ツールである。これまでに、汎用データモデルとして、階層型データモデル<sup>ii)</sup>、ネットワーク型データモデル<sup>iii)</sup>、関係型データモデル、オブジェクト関係モデル、オブジェクトモデル等が提案されたが、今日、DBMS のほとんどは関係型データモデルに基づき開発されることが一般的である。いわゆる、リレーショナル型データベース管理システム(以下、RDBM)である。

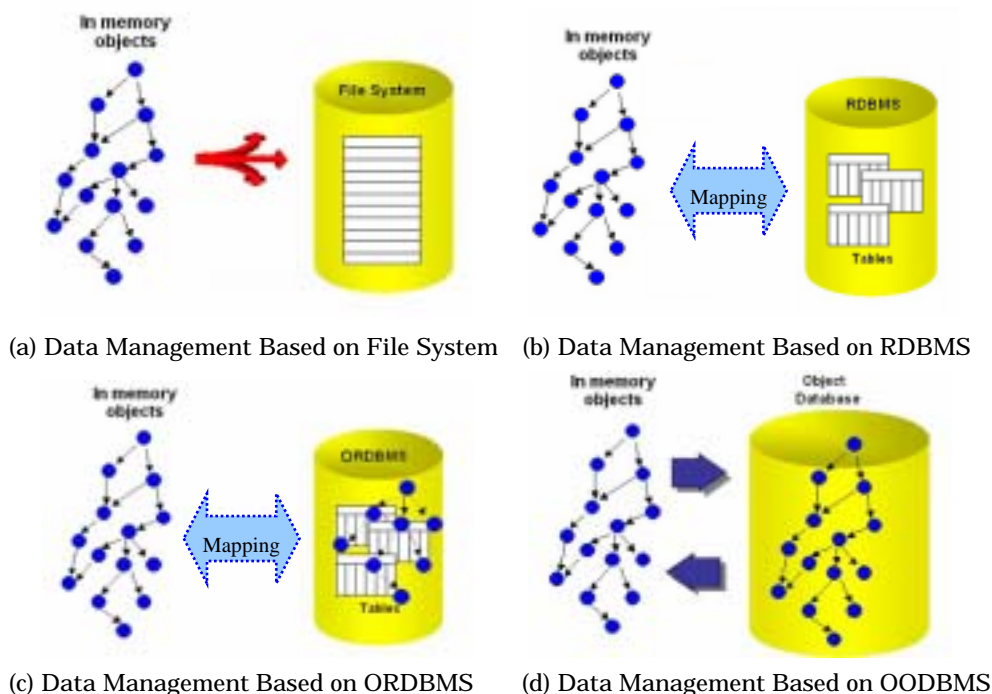


図-3.1 オブジェクト指向のデータ処理と DBMS におけるデータ管理の関係

RDBMS は今日もデータベースの主流であり、社会のさまざまな分野で広く活用されている。

本研究においても、地学情報を関係モデルによりモデル化することで、大規模地下開発支援システムを構築することを提案する。

関係モデルにおいては、あらゆるデータが図-3.2 に示す 2 次元テーブルで保存され、データ間の関係は主キーと外部キーで表現される<sup>1),2)</sup>。階層型データモデルやネットワークデータモデル等と比較すると、関係型データモデルのデータ構造は簡潔な統一形式で表現される点に特徴がある。このように単純なデータ構造を有するため、関係型モデルは集合論等の数学理論を容易に適用することが可能となる。したがって、データベース設計に関する自由度が高く、データ検索の最適化も容易となる。

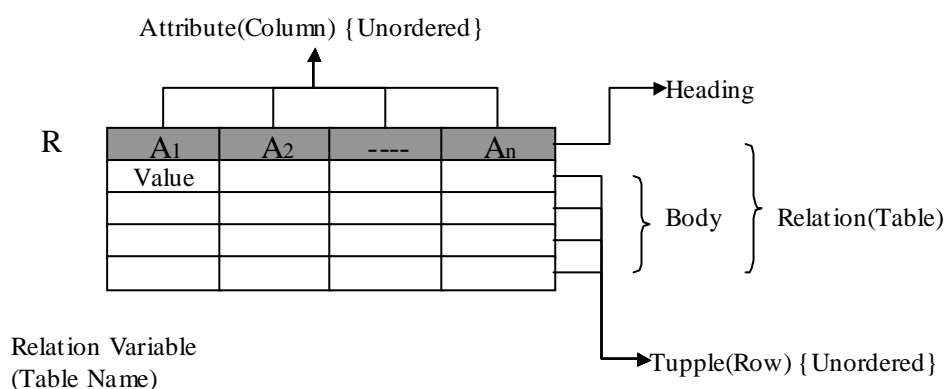


図-3.2 関係型データモデル<sup>1)</sup>

関係モデルにおいては、データの従属関係は無視され、図-3.2 に示す表形式でその関係が表現される。これを数式で表す場合、次の表現方法が用いられる。

$$R(A_1, A_2, \dots, A_n)$$

関係 R に対する操作は関係代数によって実施され、基本的な関係代数演算は和、差、交わり、直積等の伝統的な集合演算に加えて、選択(Selection)、射影(Projection)、結合(Join)、商(Divide)等の関係代数演算も実施される。なお、当該システムに実行される具体的な演算方法は3.3節に示す。このように関係データモデルは単純な構造を持ち、多様な演算処理が可能であるため、複雑なデータ関係をいくつかの階層的な要素に分解し、演算処理により評価することが可能である。

RDBMS の設計には、SQL 言語<sup>iv)</sup>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、多くのユーザーがシステムを使用でき、かつ容易にこれを改良し得るよう Open Source の SQL データベース言語 MySQL<sup>3),4)</sup>をベースに RDBMS の設計を行うこととした。MySQL は、TCX DataKonsulter AB の 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 **Open Source** の一つである。

関係データモデルに関しては、近年、情報処理工学の発展とともに、以下のような問題点も指摘されつつある。すなわち、

- 1) 今日、ほとんどのシステム開発にはオブジェクト指向言語が用いられるが、オブジェクト指向言語では、データベース上に保存されているデータにアクセスする際、テーブルのレコードとクライアント・アプリケーション・オブジェクトとを相互に変換(**Mapping**)する必要が生じ(図-3.1(b))、大容量データの処理に大きな負荷が生じる。
- 2) オブジェクトのデータ構造が非常に複雑な場合、関係モデルによるデータモデリングが困難となり、大量なテーブル結合操作がシステムの性能を低下させる。

これらの問題点は当該システムにも直結するものであり、2章で述べたように仮想現実空間を構成する各種のCGモデルをもデータとして扱おうとする場合、1) の **Mapping** に大きな負荷が発生することは容易に想像される。また、時間軸をも考慮した **RDBMS** を設計する場合、そのデータ構造は自ずと複雑なものとなるため、2) で述べた大量のテーブル結合操作が発生する可能性は著しく高い<sup>5),6)</sup>。

上述のような問題点を解決するために、近年、オブジェクト指向データモデリング手法が注目され、いくつかの市販製品も開発されている。しかしながら、オブジェクト指向データベースに関する理論や技術等は十分に整備されている段階にあるとはいいがたく、今日の段階で実用的な **RDBM** を設計することは困難であるものと判断された。

一方、関係モデルを基礎とし、オブジェクト指向モデルの利点を積極的に導入しようとするオブジェクト関係データモデルも提案されている。現在、主要なデータベース管理システムはオブジェクト関係データモデルに基づいて設計されており、その実用性はオブジェクト指向データモデリング手法に比して高いものと判断される。しかしながら、当該の手法は標準化することが難しく、問題の特性に合わせた改良が求められる。

このため本研究では関係データモデルを基礎として、オブジェクトデータモデルの長所も考慮した時空間地学情報データモデルを設計することを目的に、CGモデルのデータ構造、ならびに時間のフレームワークを独自に定義することとした。

### 3.3 時間フレームワークと地学時間情報の表現

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。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。

この目的のため、本研究では図-3.3 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。

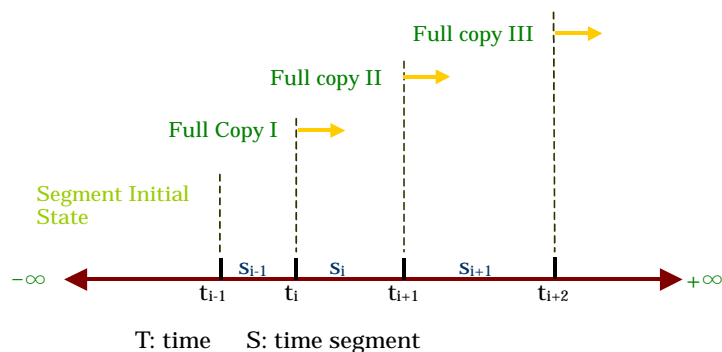


図-3.3 時間情報参照系とタイム・セグメントの分割

また、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に、地質年代や年代的層序区分等を用いることが可能である。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、図-3.4 に示すように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、図-3.5 のように曖昧のまま処理することを考えた。このとき、時間軸上における順序の整合性は確保するものとする。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されれば良い。

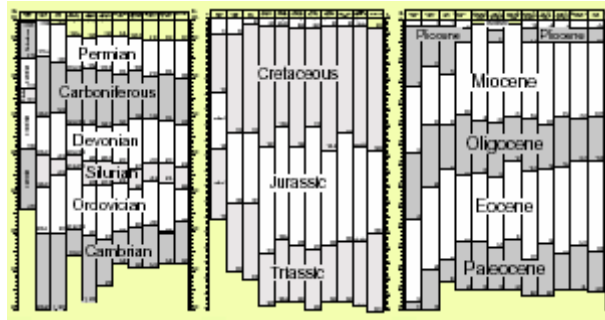


図-3.4 地質年代参照系の比較 (GTS2004)

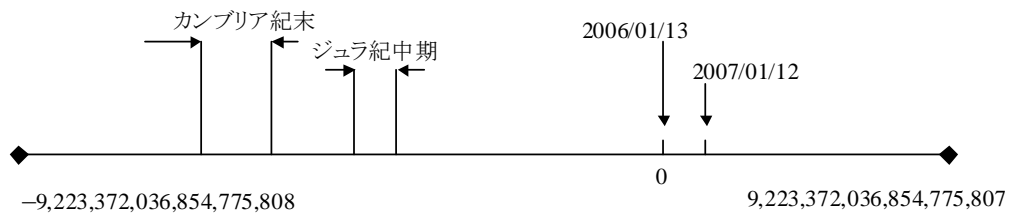


図-3.5 時間軸の参照系

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-3.1のように定めている。

表-3.1 Datetime 等のデータタイプの構成

KeyWord	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

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ならず、時間表現はデータベース管理システム (DBMS) ごとに定義されることが一般的である。例えば、汎用的に用いられる DBMS の PostgreSQL 8.0.12 が採用する時間に関するデータタイプは表-3.2のようなものであり、取り扱える時間領域が、当該システムに包括される時間概念に比して狭隘であるものと判断される。

表-3.2 PostgreSQL8.0.12 の時間データタイプ

Name	Size	Description	Low Value	High Value	Resolution
timestamp[(p)] without time zone	8 bytes	both date and time	4713 BC	5874897 AD	1 microsecond/ 14 digits
timestamp [(p)] with time zone	8 bytes	both date and time, with time zone	4713 BC	5874897 AD	1 microsecond/ 14 digits
interval [(p)]	12 bytes	time intervals	-178000000 years	178000000 years	1 microsecond/ 14 digits
date	4 bytes	dates only	4713 BC	5874897 AD	1 day
time[(p)] without time zone	8 bytes	times of day only	00:00:00.00	23:59:59.99	1 microsecond/ 14 digits
time[(p)] with time zone	12 bytes	times of day only, with time zone	00:00:00.00+12	23:59:59.99-12	1 microsecond/ 14 digits

前にも述べたように、地学世界での時間情報は、一般的な工学分野が対象とする時間概念に比べ、概念の定義が多様であり、かつそのタイムスパンも多様である。地質年代、年代層序、あるいは化石等の時間領域は 6 億年前にも遡るのに対し、今日、行われる各種の化学計測は秒単位間隔での測定が一般的に行われる。このように多様な時間概念を同一のデータベース上で統合的に取り扱うために、本研究では時間情報を表-3.3 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。このような表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。

表-3.3 当該システムのデータベースにおける時間表記

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-3.3 C/C++言語のランタイム・ライブラリーにおける時間データ構造

なお、**図-3.3**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-3.3**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。



### 3.4 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(データセット)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、それぞれが次式のような関数形式で表現されるものとする。

SD (OID, SD, SMBB, TMBB)

FCA (OID, TMBB, A)

SA (OID, TMBB, A)

すなわち、空間情報 SD、時間に鋭敏な特性 FCA、ならびに時間的に安定な特性 SA は、変数群 OID (Object Identifier)、SMBB (Spatial Minimum Bounding Box)、TMBB (Temporal Minimum Bounding Box)、A (Attribute) によって表現されるものとする。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 (Main Key)<sup>v</sup>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 (Foreign Key)<sup>vi</sup>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より、データの冗長 (Redundancy) を減少することが可能な点にある。

いま、トンネル壁面の任意点の絶対変位測定データを地学オブジェクトとして、これを上記の方法で関係モデルとして表記する問題を考える。このとき、空間情報 SD の関係モデル・テーブルは、例として表-3.4 のように示すことが可能である。

表-3.4 トンネル壁面絶対変位測定の空間情報 SD の関係モデル・テーブル

OID	SD			SMBB			TMBB	
	X	Y	Z	X	Y	Z	Ts	Te
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20080101	20081231

表-3.4 では、測定点のオブジェクト ID を”1”とし、その座標 (X,Y,Z) を空間情報 SD として与えている。また、測定点は 1 点であるから SMBB (Spatial Minimum Bounding Box) は SD と同一の座標 (X,Y,Z) を与えた。また、測定期間を 2007 年 1 月 1 日 (Ts) から 2007 年 12 月 31 日 (Te) と測定期間を 2008 年 1 月 1 日 (Ts) から 2008 年 12 月 31 日 (Te) までの二つに分割し、これをそれぞれ TMBB (Temporal Minimum Bounding Box) とした。

TMBB は 2.2 節で定義した時間セグメントの概念と対応するものであり、外部キーであるから外部キー制約 (Foreign Key Constraint) は受けるものの、主キーであるオブジェクト ID に対して単独である必要はなく、自由に設定することが可能である。したがって、検索を効率的に行うため超長期に亘る測定期間をいくつかに分割することも可能であるし、また一度中断した測定をある期間を経てから再度測定する事例にも対処することも可能となる。

一方、時間的に安定な特性 SA の関係モデル・テーブルは表-3.5 のような例を示すことができる。表に示すように、OID は当該システムの主キーであり、空間情報 SD の関係モデルと一致しなければならない。また、TMBB が測定期間を 2007 年 1 月 1 日 (Ts) から 2007 年 12 月 31 日 (Te) の期間しか設定されていないのは、当該テーブルがこの外部キーにのみ対応した関係モデル・テーブルであることを示すものである。なお、A (Attribute) として測定点名 (Name) と 2 つの較正係数 (Calib\_1, 2) を与えているが、これらの属性は測定期間中に変化することのない静的な属性であることは容易に理解されるだろう。

表-3.5 トンネル壁面絶対変位測定の時間的に安定な特性 SA の関係モデル・テーブル

OID	TMBB		A		
	Ts	Te	Name	Calib_1	Calib_2
1	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50

表-3.6 トンネル壁面絶対変位測定の時間的に鋭敏な特性 FCA の関係モデル・テーブル

OID	TMBB		A			
	Ts	Te	Tm	X-disp.	Y-disp.	Z-disp.
1	20070101	20071231	20070201	0.550	0.5661	1.2235
1	20070101	20071231	20070301	0.455	0.6566	1.4235
1	20070101	20071231	20070401	0.450	0.6561	1.5235
⋮						
1	20070101	20071231	20071101	0.433	0.6882	1.3882
1	20070101	20071231	20071201	0.412	0.7592	1.6489

さらに、時間的に鋭敏な特性 FCA の関係モデル・テーブルは表-3.6 のように例を示すことができる。表に示すように、OID と TMBB によって当該のテーブルが特定機器における特定期間の測定データを与えるテーブルであることが理解される。当該表では A (Attribute) として測定日時 (Tm) と 3 方向変位 (X,Y,Z-displacement) を与えた。これらは測定事象によって変動する動的な属性であり、最も本質的なデータである。

これらの関係を作成・修正するための主な操作は、挿入・更新・削除と選択である。ここでは、一般的な関係操作である挿入・更新・削除等の操作や関係定義・制御等に関する説明は Appendix\_A (MySQL の基本的な操作) に譲るものとして、上記のように地学オブジェクトを記述した際の時空間データの選択操作について、表-3.4～表-3.6 に示した例を用いて基本的な概念を以下に示す。

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 (Ts) から 2007 年 12 月 31 日 (Te) 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  $tj=20070101$ 、 $tj+1=20071231$  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、

$$\begin{aligned}
 SD_{[tj,tj+1]}^1 &= \delta_{OID[1]} SD \otimes \delta_{TMBB[tj,tj+1]} SD \\
 FCA_{[tj,tj+1]}^1 &= \delta_{OID[1]} FCA \otimes \delta_{TMBB[tj,tj+1]} FCA \\
 SA_{[tj,tj+1]}^1 &= \delta_{OID[1]} SA \otimes \delta_{TMBB[tj,tj+1]} SA
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

ここで、 $A_{[m,m+1]}^k$  はテーブル A のうち、OID=1 かつ TMBB が  $m$  と  $m+1$  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 から Heading L の条件 [nn] に適合する要素を抽出する演算子を、また  $\otimes$  は自然結合<sup>vi</sup>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、表-3.7 のようなテーブル  $T^C$  が作成される。

$$Table^C = SD_{[tj,tj+1]}^1 \otimes FCA_{[tj,tj+1]}^1 \otimes SA_{[tj,tj+1]}^1 \tag{3.2}$$

表-3.7 結合されたテーブル  $Table^C$

OID	SD			SMBB			TMBB		A			A			
	X	Y	Z	X	Y	Z	Ts	Te	Name	Calib_1	Calib_2	Tm	X-disp	Y-disp	Z-disp.
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070201	0.550	0.5661	1.2235
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070301	0.455	0.6566	1.4235
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070401	0.450	0.6561	1.5235
⋮															
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20071101	0.433	0.6882	1.3882
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20071201	0.412	0.7592	1.6489

このように結合されたテーブル  $Table^C$  において、2007 年 3 月 1 日から 2007 年 9 月 30 日の間に測定したデータだけを選択する問題を考える。この場合、 $Table^C$  の A における測定時間  $Tm$  に着目し、対象時間を  $[tj=20070301, tj+1=20070930]$  とおけば、式(3.2)と同様の演算でこれを選択することが可能となる。すなわち、

$$Table_{[tj,tj+1]}^C = \delta_{Tm[tj,tj+1]} Table^C \quad (3.3)$$

表-3.8 選択された測定データ群  $Table_{[tj,tj+1]}^C$

OID	SD			SMBB			TMBB		A			A			
	X	Y	Z	X	Y	Z	Ts	Te	Name	Calib_1	Calib_2	Tm	X-disp	Y-disp	Z-disp.
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070301	0.455	0.6566	1.4235
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070401	0.723	0.6678	14976
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070501	0.874	0.6999	1.5433
⋮															
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070801	0.612	0.6982	1.4685
1	1245.12	1455.2	451.3	1245.12	1455.2	451.3	20070101	20071231	POINT_A	500	0.50	20070901	0.598	0.7112	1.5789

このとき、 $Table_{[tj,tj+1]}^C$ は表-3.8 のように与えられる。また、式(3.3)において選択対象時間を  $[tj=20070301, tj+1=20070301]$ とすれば、2007年3月1日に測定されたデータのみが選択されることは自明である。

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、2.1節で懸念したテーブル結合操作によるシステム性能低下を回避しうるものとする。

## 参考文献

- 1) 橋本洋志, 富永和人, 松永俊雄, 小澤智, 木村幸男: 図解コンピュータ概論, オーム社, 2004.
- 2) 佐藤正美: データベース設計論-T 字形 ER 関係モデルとオブジェクト指向の統合をめざして-, ソフト・リサーチ・センター, 2005.
- 3) Dubois, P., Stefan Hinz and C.Pedersen : Mysql 5 Certification Study Guide(Mysql Press), Sams; Pap/C, 2005.
- 4) Pachev, S.: Understanding MySQL Internals , Oreilly & Associates Inc, 2007.
- 5) 増永良文: リレーショナルデータベース入門, サイエンス社, 2006.
- 6) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%96%A2%E4%BF%82%E3%83%A2%E3%83%87%E3%83%AB#.E3.83.A2.E3.83.87.E3.83.AB>

## 3章用語解説

- i セマンティックスとは、特定の表記に捕らわれず、表現された意味に着目する考え方をあらわす用語である。一方、表記がまったく同一であっても、それが示す意味が異なる場合は、セマンティックスが同一であるとは言えない。たとえば、**title** という要素を記述したとき、見た目の表記が全く同一に見えたとしても、肩書きを記述するために使用した **title** 要素と、文書名を記述するために使用した **title** 要素は、セマンティックス的に同一とは言えない。これをシンタックスと呼ぶ。
- ii データベースにアクセスする方法の一つ。このモデルでは、データはツリー構造のセット(階層)で表される。また、このような構造を操作するためツリーを上下に移動して階層パスをたどるオペレーションが用意される。
- iii ネットワーク型データモデルとは、データをレコード形式にし、レコード間をポインタでリンクさせたデータモデルである。このため、ネットワーク型データモデルにおいてクエリを発行するには、あるレコードから出発し、ポインタで参照しなければならない。ネットワーク型モデルはデータベースのデータモデルとして現在ほとんど用いられておらず、関係型データモデルにとって代わられたといえる。しかし、メモリ内のデータモデルは、基本的にネットワーク型データモデルなので、現在、主流である言語のほとんどが、レコード型とポインタを定義する機能を持っている。この意味で、オブジェクトモデルをネットワーク型データモデルだと考えることもできる。
- iv リレーショナルデータベースの操作を行なうための言語の一つ。IBM 社が開発したもので、ANSI(アメリカ規格協会)や ISO(国際標準化機構)によって標準として規格化されている。SQL は大きく分けてデータ定義言語(DDL: Data Definition Language)、データ操作言語(DML: Data Manipulation Language)、データ制御言語(DCL: Data Control Language)の3種類から構成される。DDL にはテーブルや制約条件などを定義する CREATE 文や、テーブルなどを削除する DROP 文などがある。DML にはレコードの抽出を行う SELECT 文や、テーブルにレコードを挿入する INSERT 文、レコードを削除する DELETE 文、特定のレコードのフィールドを更新する UPDATE 文などがある。DCL にはトランザクション処理の開始を宣言する BEGIN 文、トランザクションの完了を指示する COMMIT 文、トランザクションを取り消す ROLLBACK 文などが含まれる。
- v データベースの中から、ある一組のデータセット(レコード)を一意に識別するための情報。主キーに設定された項目は、複数のレコード間で重複することは許されず、主キーを持たないレコードが存在してもならない。主キーは必ずしも一つの項目とは限らず、複数の項目を組み合わせるとして用いる場合もある。

- 
- vi 外部キーとは、リレーション設定を可能にするために子側テーブルに設ける特別なフィールドをいう。親テーブルの主キーフィールドのデータと同じ値を複数レコードとして入力できるようにすると、親テーブルと子テーブルが同じ値を持つことができるから、その値をもとにして関係を設定することができる。
- vii 結合演算は、2つのテーブルからある結合条件を満たすタプルだけを取り出して連結したテーブルを構成する演算をいう。このとき、結合条件は、同じ定義域を持つ2つの属性を比較演算子(=, ≠, <, >, ≤, ≥)を使って表現する。例えば、比較演算子が '=' であったなら、属性の値が同じ要素どうしが結合され、結合されたテーブルには同じ属性の値を持つタプルができる。このような結合演算を等結合演算とよび、重複した属性を除去した結合演算を自然結合とよぶ。

#### 4. RDBMを基礎とした地学情報時空間モデリングの提案

大規模地下開発の場を考えると、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が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ものと考えられる。すなわち、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(Field、場、ラスタ)モデルやベクター(Vector)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る。このため、類似地物間の差異を表現することが困難となり、その可視化表現も制限を受ける。

また、このことは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ことを意味する。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。

本章では、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。4. 1節では、この目的のために多層化された仮想現実空間の構造と、その地学オブジェクトのデータベース化について述べ、4. 2節では多層化された仮想現実空間の可視化手法を示す。さらに、4.3節で、現実世界のモデル化について述べるものである。

#### 4.1 地学データモデリングとデータベース化の概念

ここでは地学データ群をモデリングし、これをデータベース化する手法について提案を行う。前に述べたように、本研究では仮想時空間を構成する地学オブジェクト関係データモデルとして取り扱うことのできるシステムを提案する。したがって、仮想空間はユーザーがその目的に応じて、適宜、必要な地学オブジェクト群を呼び出し、これを組み合わせることで構成することとなる。本節では、まず当該システムにおいて構築される仮想現実空間の概念を示し、そのデータモデリングについて示す。

##### 4.1.1 大規模地下開発支援システムにおける仮想現実空間構造

###### (1) GeoWorld の概念とその構造

当該システムにおいて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。

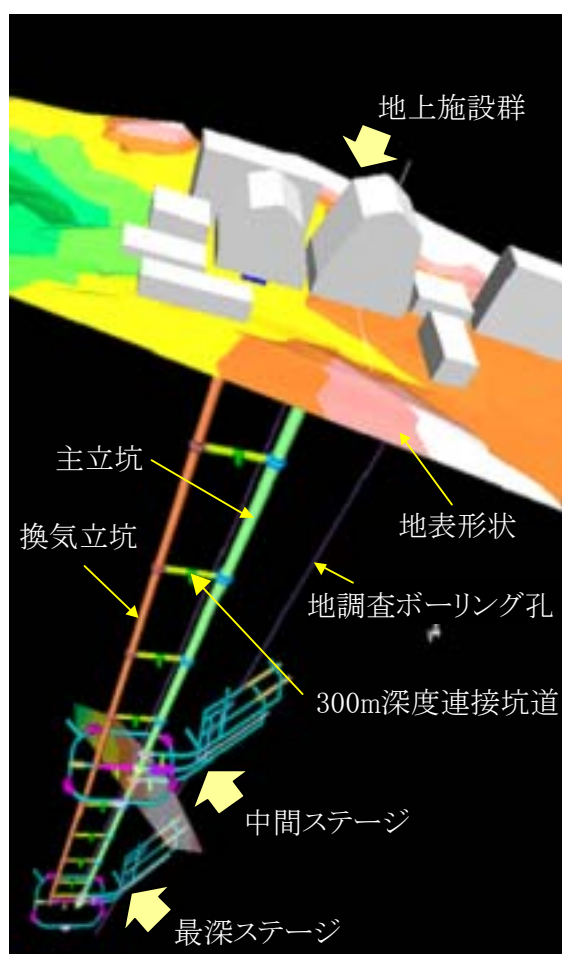


図-4.1 瑞浪超深地層研究所プロジェクトにおける GeoWorld の例



したがって、現実世界をあまねく仮想化する必要はなく、その場の広がりには有限なものである。言い換えれば、ユーザーが必要とする情報を的確に認知し得ることのできる仮想世界であれば良い。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、われわれは GeoNetwork の概念を導入することとした。

## (2) GeoNetwork の概念とその構造

図-4.1 は瑞浪超深地層研究所プロジェクトにおける 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、連接坑道群、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。言い換えれば、要求される地学オブジェクト群によって構成される仮想世界が GeoWorld である。

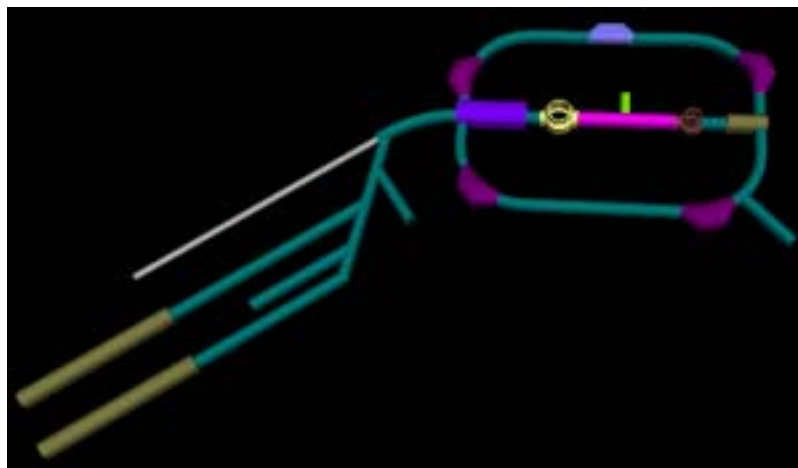


図-4.2 中間ステージの GeoNetWork

ここでは、機能や目的によって分類された地学オブジェクト群の集合を GeoNetWork と定義し、GeoWorld を構成する単位オブジェクトと考えた。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、中間ステージの GeoNetwork だけをユーザーが呼び出せば、図-4.2 に示す中間ステージのみで構成された GeoWorld が構築される。この Geoworld は図-4.1 に比較し当該の検索作業を大きく効率化させることは自明であろう。

また、このことは呼び出す 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できることを示す。

このような GeoNetwork は固定された形態を保持する集合ではなく、ユーザーのニーズに合わせ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、仮想現実上での画面操作が難しいことが多い。このような線状構造物の場合、トンネル延長 100m ごとであるとか、立坑深度 100m ごとの 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。本報告書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 として搭載した。

### (3) GeoDataSource と GeoNetwork

GeoNetwork をユーザーの希望に合わせて定義することができるのは、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 深度接続坑道の GeoNetwork は図-4.3 に示すように主立坑接続部、換気立坑接続部、接続坑道、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。なお、当該のシステムでは、GeoNetwork を構成する個々の地学オブジェクトを GeoDataSource と呼ぶものとする。

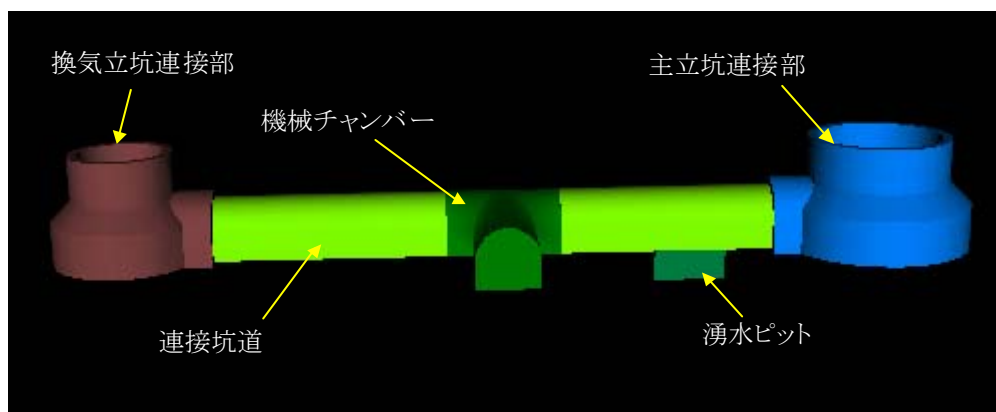


図-4.3 300m 深度接続坑道の GeoNetwork の構成

GeoNetwork を作成するに当たり、境界部の GeoDataSource の取り扱いが問題となる場合がある。例えば、図-4.1 において主立坑接続部と換気立坑接続部は 300m 深度接続坑道の GeoNetwork に属するとも考えられるし、主立坑接続部や換気立坑接続部の GeoNetwork に属するとも考えることができる。当該のシステムでは、そのいずれかを選定するかはユーザーに委ねられ、ユーザーは必要な GeoDataSource を選定し、独自の GeoNetwork を製作することとなる。

また、当該の 300m 深度接続坑道において湧水が増大し、湧水ピットを増設する場合を考え

る。このとき、同型の湧水ピットを別途掘削して増設するならば、同じ湧水ピットの **GeoDataSource** を選択し、新しく掘削する位置に接続することで湧水ピットの増設をモデル化することができる。また、現状の湧水ピットを拡張掘削して増設するならば、現在選択している湧水ピットの **GeoDataSource** を棄却し、拡張された寸法の湧水ピットの **GeoDataSource** を接続すればよい。このように、**GeoDataSource** の集合とすることで、User on Demand な **GeoNetwork** の構築を可能となる。

なお、**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。なお、これらの部品モデルは各種のモデル作成ソフトで作成することができるが、**GeoDataSet** 上には、VRML、もしくは X3D に変換されたモデルが格納される。**GeoDataSet**、および部品モデルの詳細は4.3節に示す。

#### 4.1.2 地学モデルのデータベース化

前節で述べた仮想現実空間の構造は図-4.4のように図式化される。図中には、新しいデータベースとして **GeoDataSource** と結びついた **GeoInfoLibrary** が導入されている。これは、3.3節で定義した 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を意味するものである。したがって、**GeoDataSource** は SD (Spatial Data) に相当することとなる。

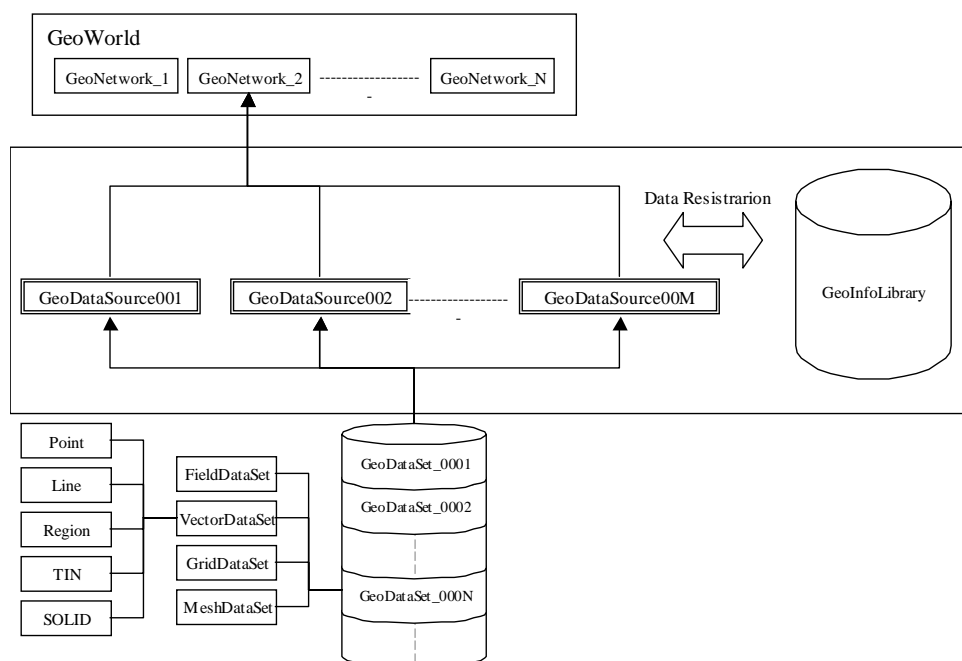


図-4.4 仮想現実世界の構造模式図

当該の仮想現実世界の構造では、**GeoWorld** と **GeoNetwork** をユーザーの要望に応じた可

変構造としたが、GeoDataSourceは地学テーマ情報SA、FCAとの自然結合が可能である制約条件を受けることに注意しなければならない。また、4.3節で述べたようにGeoDataSourceと地学テーマ情報SA、FCA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、仮想現実世界をこの構造のクラス図として表したものが図-4.5である。

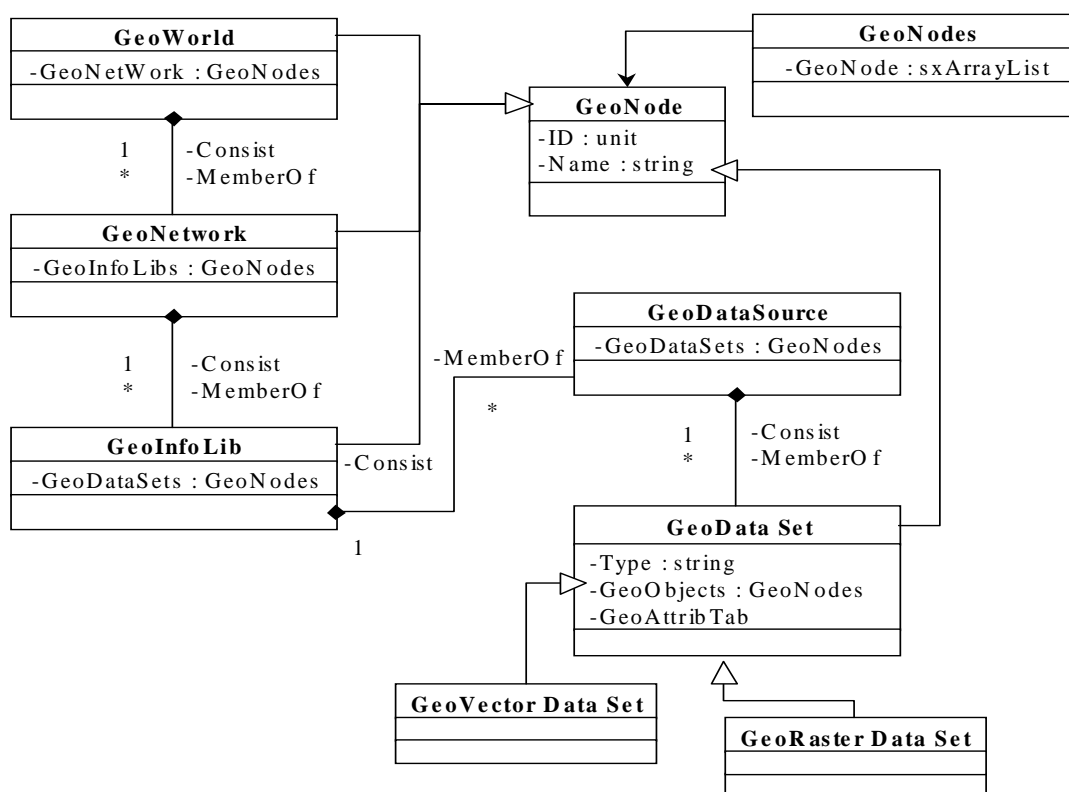


図-4.5 仮想現実世界構造のクラス図

図-4.5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ものである。

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。したがって、GeoNodeはGeoInfoLib、GeoNetwork、およびGeoWorldにも継承されなければならない。

## 4.2 データの可視化機構

前節に示した方法でデータベース化された仮想現実世界の幾何学情報や、これに付帯する属性情報を Web3D<sup>1</sup>技術により可視化する。その基本的な機構は図-4.6 に示すものである。

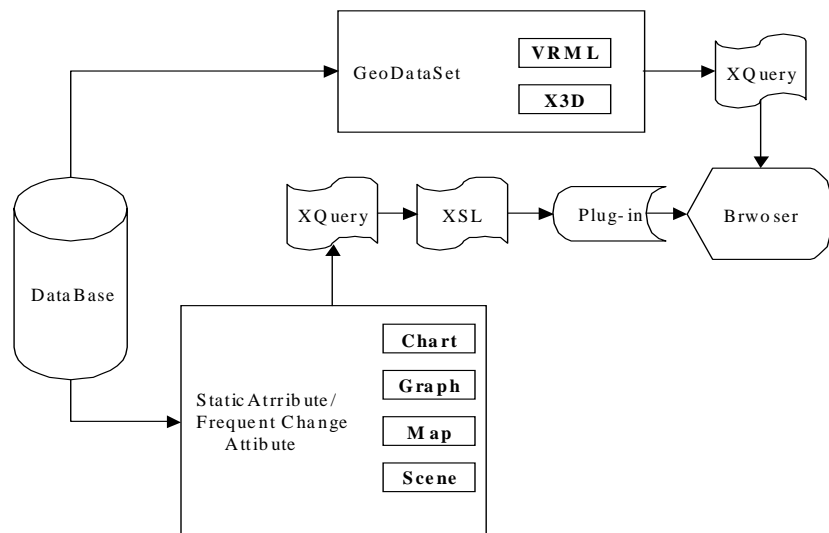


図-4.6 データの可視化機構

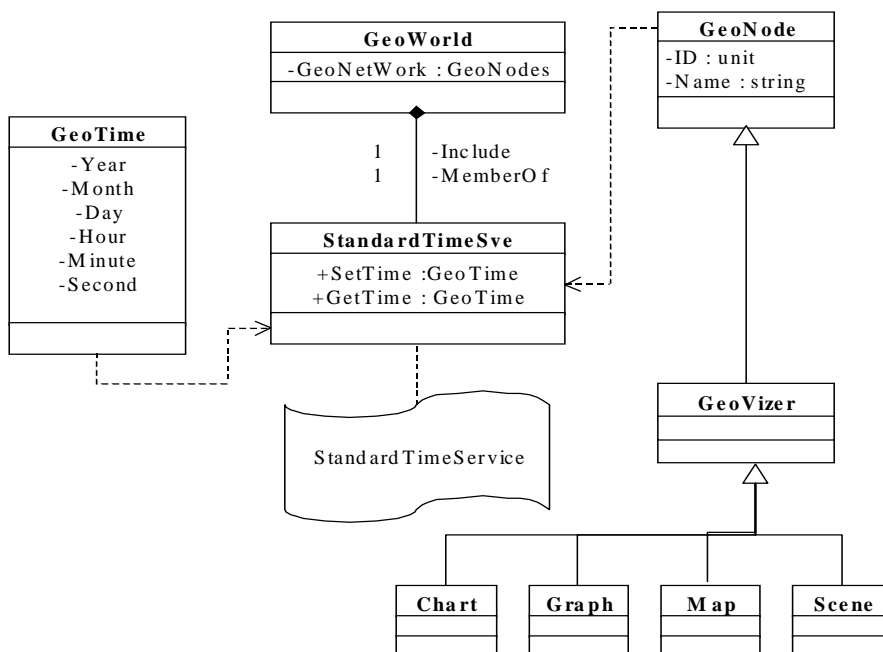


図-4.7 付属データ可視化機構のクラス図

データベース上の幾何学モデルデータ要素である **GeoDataSet** は、代表的な **Web3D** 言語である **VRML**、もしくは **X3D** の形式でデータベース上に格納されることはすでに述べた。したがって、**GeoWorld** を構成する幾何学モデルはこの形式が継承されるから、直接、**browser**<sup>ii</sup>上に可視化することが可能である。

しかし、これに付帯する属性情報 **SA**、**FCA** は種々のファイル形式で格納され、そのままでは可視化することができない。このため、**XML**<sup>iii</sup>技術を援用して各種属性情報を可視化する方法を当該システムに採用することとした。具体的には、2次元ベクター画像である図表や写真、あるいは地図などを **SVG**<sup>iv</sup>により **XML** 形式で表現し、これを **Browser** の **Plug-in**<sup>v</sup>を介して可視化する。この付属データを可視化する機構を図-4.7 にクラス図として示す。図中に表れる **GeoVizer** の概念は、**SVG**<sup>vi</sup>により **XML** 形式で表現する機能を概念化したものである。

このようにして、**XML** 形式で表現された 2次元ベクター画像は **GeoNetwork** の幾何学モデル上に貼り付けることも可能であり、より高い現実感を仮想空間に与えることが可能となる。図-4.8 は瑞浪超深地層研究所立坑掘削時に計測された掘削壁面形状データの幾何学モデル上に、壁面画像写真をこの手法によって貼り付けた例を示す。



図-4.8 瑞浪超深地層研究所の立坑掘削形状データに壁面画像写真を貼り付けた例

また、図-4.6 に示した機構では、**GeoDataSet** のデータも属性データである **SA**、**FCA** のデータも、**Browser** に投影される以前に **XQuery**<sup>vii</sup>を介することとされている。**XQuery** は、**XML** 文書を検索・抽出するための関数型言語のことであり、**XML** 文書に対してデータベース照会を行うことが可能であるだけでなく、データの比較、代入など、リレーショナルデータベースのように多様な問い合わせを行うことも可能となる。したがって、各種データを **Browser** に投影するに当たり、**Xquery** を介することで、**Browser** 上でのデータ検索が可能となる。これは大規模地下開発支援システムのプラットホームが目的とするところの、仮想世界上からのデータ検索、ならびにデータ処理を可能ならしめる機能である。

なお、Appendix B に **XML** の基礎的事項を整理した。

### 4. 3 仮想世界の幾何学モデル作成

図-4.4、図-4.5 に示されるように仮想世界の幾何学モデル構成単位である GeoDataSet は各種の幾何学オブジェクトを結合することで作成される。ここで、幾何学オブジェクトとは現実世界にある形状を各種のコンピュータ・グラフィック言語でモデル化したオブジェクトを意味する。現実世界における幾何学データの空間位置情報は、地理座標系(経度・緯度、標高)、世界測地系(X,Y,Z)、ローカル座標系(X,Y,Z)等により表現されるが、幾何学オブジェクトの作成に当たっては工学的な汎用性の高い世界測地系で統一したモデル化を実施するものとした。

表-4.1 地学ジオメトリ・オブジェクト・タイプ

Type	Name	Example Object	Data structure	Description
Vector	Point, Line, Region	Well, road, boundary	Multi- tables	Conventional 3D Object Feature
	TIN <sup>a</sup> , TEN <sup>b</sup> , GTP <sup>c</sup>	Fault surface, stratum		Topology maintenance difficult
	Regular Solid	Building, laneway	BLOB <sup>d</sup>	CSG <sup>e</sup> , VRML-like
Grid	Grid Surface, image, 3DGrid	DEM <sup>f</sup> ,	BLOB <sup>d</sup>	
Mesh	Mesh	Human, car	BLOB <sup>d</sup>	For visualization purpose

a Triangular Irregular Network    b Tetrahedron Network.    c Generalized Tri-prism  
d Binary Large Object of Block    e Constructive Solid Geometry    f Digital Elevation Model

幾何学オブジェクトとして採用された地学ジオメトリ・オブジェクト・タイプを表-4.1 に示す。表に示すように、幾何学オブジェクトモデル化には、点・線・面等のベクタータイプだけでなく、規則ジオメトリオブジェクト、構造的オブジェクト、ラスタオブジェクト、3D メッシュ等のグリッドタイプやメッシュタイプ等を提供するものとした。このように多くの種類の地学ジオメトリ・オブジェクト・タイプを採用することの利点は、単に複雑な形状をモデル化することだけにあるのではなく、現実世界にある幾何学オブジェクトの幾何学的特性に適した地学ジオメトリ・オブジェクト・タイプを採用することで、効率的なデータ管理が可能となるためである。

たとえば、平面形状の表現には一般に DEM (Digital Elevation Model)<sup>viii</sup>か TIN (triangulated irregular network)<sup>ix</sup>が用いられることが一般的である。DEM は表現する形状を規則的に配した点によって表現するため、変化の少ない広域形状を比較的少ない点で表現することは可能である。すなわち、断層や破砕帯等の地質構造を表現するのに適している。これに対し、TIN の長所は、変化に富んだ点の配列ができることから、正確な地形を表現する上で重要と思われる場所に点を配置することができる。したがって、斜面や地形面などといった地形の三次元的形状を表現するのに適している。また、Regular Geometry Object はパラメータと数学式で表現することのできるオブジェクトであり、パラメータの変化とともに形状の変化もできるため、ある程度の空洞形状変化にも対応が可能となる。

図-4.9～図-4.13 に当該システムで採用した地学ジオメトリ・オブジェクト・タイプの一覧を示す。また、瑞浪超深地層研究所の仮想現実世界に使用した幾何学オブジェクト群のデータベースにおける属性情報構造を図-4.14 に示す。なお、図-4.14 は MySQL の文法に従って記述されたものである。

Type	Image	Format	Description
Point		XML/VRML (x,y,z,t)	点状地物
Polyline		XML/VRML {(x,y,z,t), (x,y,z,t)...}	線状地物
Polygon		XML/VRML {(x,y,z,t), (x,y,z,t)...}	面状地物
TIN		XML/VRML 点座標データとトポロジー情報	地層境界面 断層面
TEN		XML/VRML 点座標データとトポロジー情報	不規則な 地質オブジェクト
GTP		XML/VRML 点座標データとトポロジー情報	ボーリングデータによる 地層表現

図-4.9 Vector Object Type 一覧

Type	Image	Format	Description
DEM		標高データのマトリックス	地形
Image		Pixel データ	
3DGrid		Voxel データ	

図-4.10 Field Object Type 一覧



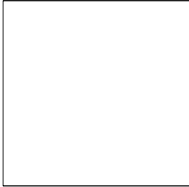
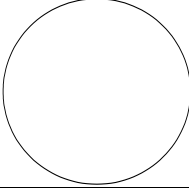




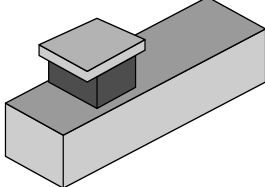
Type	Image	Format	Description
Rectangle		XML/VRML	
Ellipse		XML/VRML	
Box		XML/VRML	
Cone		XML/VRML	
Tube		XML/VRML	
Sphere		XML/VRML	
CSG		XML/VRML 以上の Regular Geometry Object の組み立て	

図-4.11 Regular Geometry Object Type 一覧

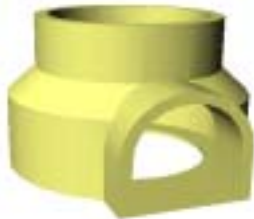


Type	Image	Format	Description
主立坑連結部		XML/VRML	
換氣立坑連結部		XML/VRML	
建物		XML/VRML	

圖-4.12 瑞浪超深地層研究所專用 Object Type 一覽


Type	Image	Format	Description
		XML/VRML	編集不能

圖-4.13 Mesh Object Type 一覽

```

--GeoData Model GeoDataSource
-----GeoDataSource meta data-----
--
create table sxGeoDataSourceTab
(ID                int primary key
,Name             varchar(50)
,OwnerID int
,GILIBID int
--Local,outside
,memo            varchar(150)
);

-----
create table sxGeoDataSetTab
(ID                int primary key
,Name             varchar(50)
,OwnerID int
,GDSID           int
,GeoRef          varchar(30)
,Unit            varchar(10)
,MaxX            double
,MaxY            double
,MaxZ            double
,MinX            double
,MinY            double
,MinZ            double
,MaxT            double
,MinT            double
,memo            varchar(150)
);

-----GeoObject-----
-----sxGeoPoint-----
create table sxXXXXXPntTab
(ID                int primary key
,X                double
,Y                double
,Z                double
,Birth           double
,Death           double
,LST             char(1)
--Life State tag
,Name            varchar(30)
);

-----sxGeoLine-----
create table sxXXXXXLPntTab
(ID                int primary key
,X                double
,Y                double
,Z                double
,LArcID          int
,TopoOrderdouble
);

create table sxXXXXXLArcTab
(ID                int primary key
,LineID          int
,TopoOrderdouble
,Tag             char(4)
);

create table sxXXXXXLineTab
(ID                int primary key
,Birth           double
,Death           double
,LST             char(1)
);

-----sxGeoRegion-----
create table sxXXXXXRPntTab
(ID                int primary key
,X                double
,Y                double
,Z                double
,ArclID          int
,TopoOrderdouble
);

create table sxXXXXXRArcTab
(ID                int primary key
,RgnID           int
,TopoOrderdouble
,Tag             char(4)
);

create table sxXXXXXRegionTab
(ID                int primary key
,Birth           double
,Death           double
,LST             char(1)
);

-----sxGeoTIN-----
create table sxXXXXXTPntTab
(ID                int primary key
,TriangleID      int
,X                double
,Y                double
,Z                double
);

create table sxXXXXXTriangleTab
(ID                int primary key
,TINID           int
,PntAID          int
,PntBID          int
,PntCID          int
);

```

図-4.14 瑞浪超深地層研究所の幾何学オブジェクト群属性情報構造(1)

```

create table sxXXXXXXGeoTINTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

drop table sxXXXXXXGeoGridTab;
-----sxGeoGrid-----
create table sxXXXXXXGeoGridTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,Data blob
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

-----sxGeoImage-----
create table sxGeoXXXXXXImageTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,Data blob
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

-----sxGeoTEN-----
create table sxGeoXXXXXTENTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,Data blob
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

drop table sxGeoXXXXXXImageTab;
-----sxGeoGTP-----
create table sxGeoXXXXXXImageTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,Data blob
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

,

drop table sxXXXXXXGeoMeshTab;
-----sxGeoMesh-----
create table sxXXXXXXGeoMeshTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,Data blob
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

drop table sxLivingObjectTab;
-----sxLivingObject-----
create table sxLivingObjectTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,Data blob
,Memo varchar(150)
);

-----Geological Object-----

-----sxGeoBorehole-----
-
create table sxXXXXXXGeoBoreholeTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
,X double
,Y double
,Z double
,Radius double
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

-----
create table sxXXXXXXGeoBoreLayerTab
(ID int primary key
,BoreholeID int
,Name varchar(50)
,TopoOrderdouble
---the first layer is 1, n=n+1
,Thick double
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Texture varchar(150)
,Description varchar(200)
);

```

図-4.14 瑞浪超深地層研究所の幾何学オブジェクト群属性情報構造(2)

```

-----sxGeoStratum-----
create table sxXXXXXXGeoStratumTab
(ID int primary key
,Name varchar(50)
--XML content
,Definition Text
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

-----sxGeoFault-----
create table sxXXXXXXGeoFault
(ID int primary key
,Name varchar(50)
--XML content
,Definition Text
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

-----sxGeoParticleCloud-----
-
create table sxXXXXXXGeoParticleCloud
(ID int primary key
,Name varchar(50)
--XML content
,Definition Text
,Birth double
,Death double
,LST char(1)
,Description varchar(200)
);

```

図-4.14 瑞浪超深地層研究所の幾何学オブジェクト群属性情報構造(3)

## 4章用語説明

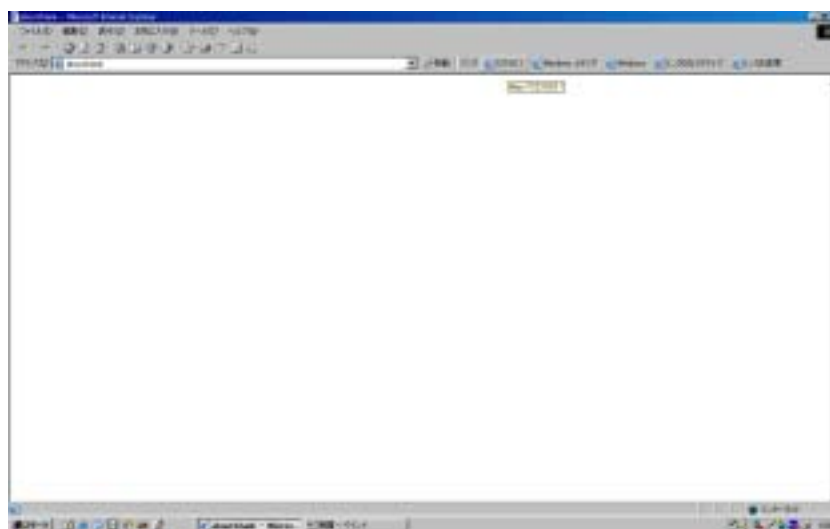
- i Web3Dとは、Webブラウザ上で3Dオブジェクトをインタラクティブに利用する技術で、表示されたWeb3Dオブジェクトを自由に回転・拡大・縮小させたり、アニメーションにすることができる。今日、様々なWeb3D技術が開発され、いずれも独自のWeb3D圧縮アルゴリズムで非常に軽量のファイルサイズを実現している。Web3Dはその軽量さから、ユーザーの操作感は現在のブロードバンド環境でもほとんど支障がなく、平面的な情報しか持たない画像に比べると、マウス操作によりあらゆる角度から見ることのできるWeb3Dコンテンツは、非常にわかりやすいコンテンツとされる。
- ii Webページを閲覧するためのアプリケーションソフト。インターネットからHTMLファイルや画像ファイル、音楽ファイルなどをダウンロードし、レイアウトを解析して表示・再生する。フォームを使用してユーザーがデータをWebサーバに送信したり、JavaScriptやFlash、およびJavaなどで記述されたアプリケーションソフトを動作させたりすることも可能である。
- iii 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。XMLはその性質上、他のマークアップ言語の骨組みとして使用されることが多い。XMLベースのマークアップ言語としては、リモート経由で他のコンピュータのサービスを呼び出すSOAPや、Web上でベクター画像の表現を行うSVGが有名である。
- iv XMLベースの2Dベクター画像記述言語。2001年9月にW3C勧告として公開された。ベクター画像は画像を点の集合体ではなく、線や面などの図形の集合体として扱うため、見る環境に応じて最適な表示が可能となる。SVGはXHTMLで記述されたWebページに埋め込まれることを強く意識しており、XMLベースの数式記述言語であるMathMLと合わせて、XHTML+MathML+SVGという仕様もドラフトが公開されている。
- v アプリケーションソフトに追加機能を提供するための小さなプログラム。特に、Netscape Navigatorに機能を追加するための小さなプログラムのことを単にプラグインと呼ぶことがある。もともと搭載されている機能だけでは実現できない、動画や高品質の音声の再生など、様々な機能がプラグインを追加することによって実現することができる。
- vi XMLベースの2Dベクター画像記述言語。2001年9月にW3C勧告として公開された。ベクター画像は画像を点の集合体ではなく、線や面などの図形の集合体として扱うため、見る環境に応じて最適な表示が可能となる。SVGはXHTMLで記述されたWebページに埋め込まれることを強く意識しており、XMLベースの数式記述言語であるMathMLと合わせて、XHTML+MathML+SVGという仕様もドラフトが公開されている。
- vii XQueryとはXMLの問い合わせ言語のひとつであり、データベースにとってのSQLのように、XML文書に対してさまざまな問合せを行うことが出来るように開発された言語である。XQuery 1.0はXPath 2.0をサブセット(部分集合)として含んでいるので、XMLの各要素を指定するにはXPathを使用することができる。また、XQueryはSQLのSelect節、From節、Where節等の機能をFLWR表現式のfor、let、where、return句などで実現し、複数のXML文書に対して選択、射影、直積、結合等の命令を実行することができる。
- viii DEMとは、規則正しく配列された格子点の標高データのことで、地表面の形状を離散的にサンプリングしたものである。現在、国土地理院から格子間隔が1km、250m、50mのものが市販されているが、さらに細密なDEMの入手も可能である。DEMを用いる利点は、地形を立体的に把握することが可能であること、傾斜量・斜面方位・ラプラシアン(地形の凹凸の指標)などの地形特性が容易に取得できることなどが挙げられる。
- ix TINとは、地理情報システム(GIS)で利用するための、地表面を表現するデジタルデータ構造である。不整三角形網とも呼ばれる。TINは、地表面または海底面の物理的形状を表現し、X,Y,Zの3次元情報を持った点と線が、重複のない三角形の集まりとして配列されたものである。

## 5. 瑞浪超深地層研究所をモデルとしたシステム実装の実際

### 5.1 大規模地下開発支援システムの起動と基本構成

2章で述べたように、本研究で開発する大規模地下開発支援システムは、技術情報の共有を目的として Web 環境上に構築するものとした。したがって、システムは図-5.1(a)のように、Network Browser 上で IP アドレスを呼び出すことで起動する。図-5.1(a)では、仮に IP アドレスを http://127.0.0.1/とした。

図-5.1(b)はその起動画面を示すものであり、システムへの Log in 画面が表示される。ここで、ユーザー名とパスワードを入力することでシステムの利用が可能となる。当該システムでは、Network 上でのセキュリティを確保するため、あらかじめユーザー名とパスワードが登録されたユーザーにのみ、大規模地下開発支援システムの利用を可能とした。



(a) Net Broser からの IP アドレスの指定



(b)ユーザーの確認

図-5.1 大規模地下開発支援システムの起動

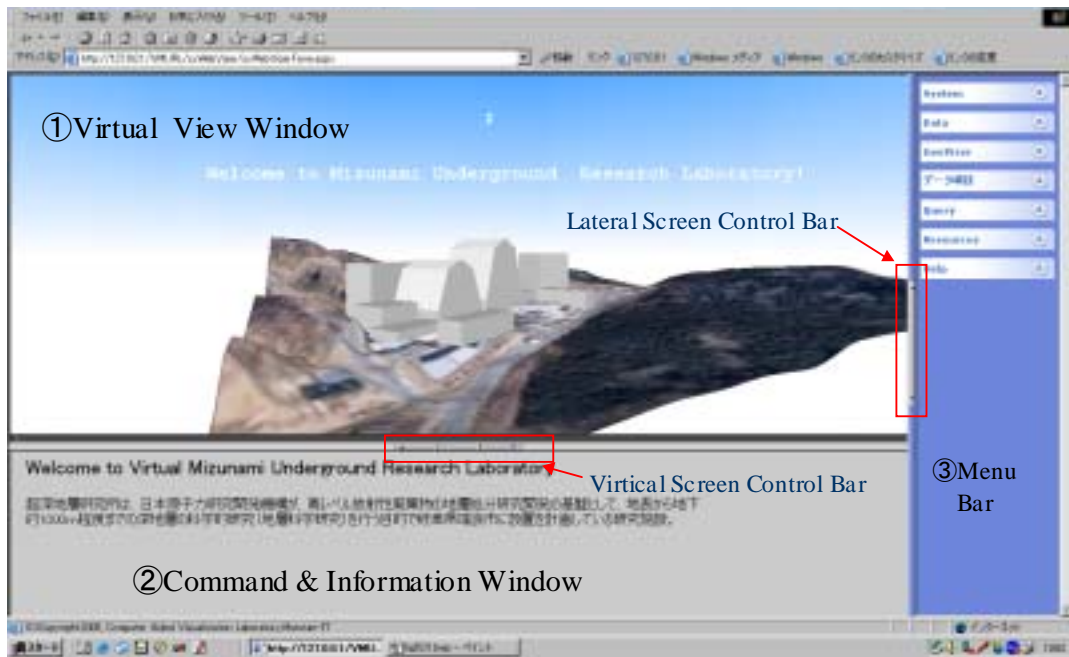


図-5.2 大規模地下開発支援システムの初期画面構成

正しいユーザー名とパスワードが入力されると、図-5.2 に示す大規模地下開発支援システムの初期画面が Network Browser 上に現れる。図に示すように大規模地下開発支援システムは、①Virtual View Window、②Command & Information Window、および③Menu Bar から構成される。

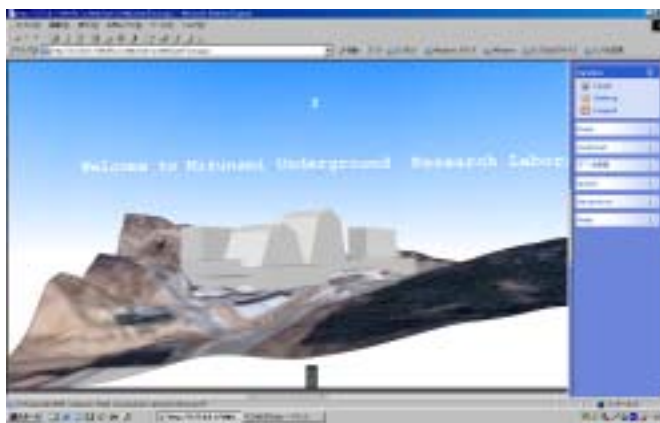
Virtual View Window は GeoWorld をはじめとする各種の仮想現実空間を描画するためのウインドウであり、マウスの操作により移動・回転・拡大・縮小等の操作が可能である。また、Menu Bar は当該システムに実装されたデータベース管理機能と各種システム管理機能を呼び出すコマンドを集約したボタン群である。具体的なコマンド類は図-5.2 中のボタン群の下位に用意されている。さらに、Command & Information Window は要求したデータの情報を表示したり、各種の機能設定を入力するためのウインドウである。

なお、図-5.2 中の Vertical Screen Control Bar と Lateral Screen Control Bar は上記の3つのウインドウ群の相対的な寸法を調整するために設けられたボタンであり、Vertical Screen Control Bar は鉛直方向の、また Lateral Screen Control Bar は水平方向のウインドウ寸法をそれぞれ調整する。

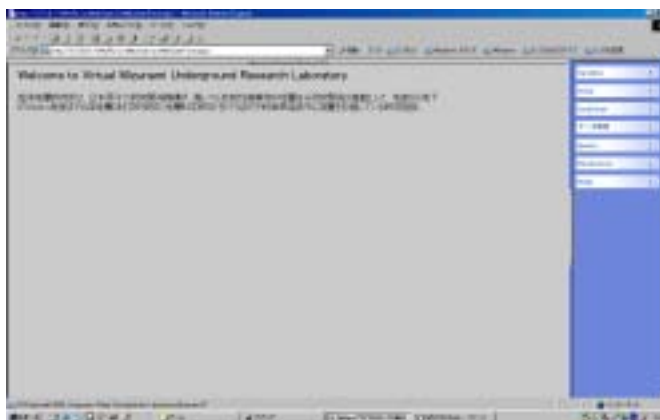
いま、Vertical Screen Control Bar の右側のボタンをクリックすると、図-5.3(a)のように Virtual View Window が鉛直方向にフルサイズで描画され、左側ボタンをクリックすると Command & Information Window が鉛直方向にフルサイズで描画される。また、中央のボタンをクリックすると図-5.3 に示すデフォルトの鉛直画面寸法に戻ることができる。一方、Lateral Screen Control Bar をクリックすると、Menu Bar が消え Virtual View Window と Command & Information Window が横方向にフルサイズで描画され、もう一度クリックすると Menu Bar がデ



フォールト状態に復帰する。図-5.3(c)は Virtual View Window を鉛直方向にフルサイズ化してから、Lateral Screen Control Bar をクリックし、全画面化した画像を示す。以上の操作は GeoVizer 中のコマンドボタンによっても可能であり、その詳細は5.2節に示す。



(a) Virtual View Window の鉛直方向フルサイズ化



(b) Command & Information Window の鉛直方向フルサイズ化、



(c) Virtual View Window の全画面サイズ化(Menu Bar の消去)

図-5.3 ウィンドウ寸法の変更

## 5.2 Menu Bar に実装されたコマンド群の概要

Menu Bar は当該システムに実装されたデータベース管理機能と各種システム管理機能を呼び出すコマンドを集約したボタン群であり、当該システムの操作は Virtual View Window 内の画像操作を除き、Menu Bar からコマンドを呼び出すことで実行される。

ここでは、Menu Bar に実装されたコマンド群の概要を示すとともに、当該システムで、現在、提供することのできるサービスを示す。

### (1)[System]に実装されるコマンド群

[System]を開くと、図-5.4 のように[System]に実装されるコマンド群が表示される。ここで、[Login]は、現在の Log in を終了し、新たな Log in に移行するために図-5.1(b)に示す Log in 画面を呼び出すボタンである。また、[Logout]は現在の作業を終了するボタンである。



図-5.4 [System]に実装されるコマンド群

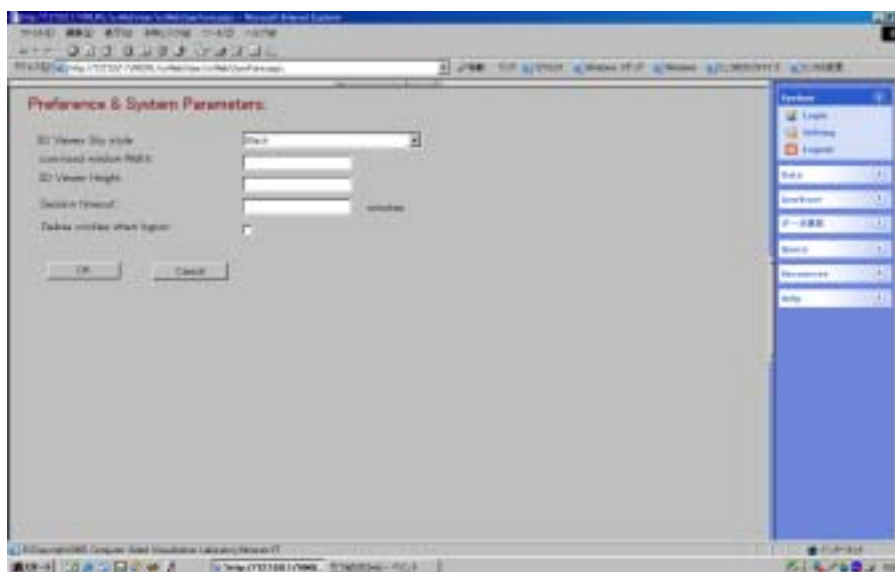


図-5.5 [Setting]コマンドの入力画面

[Setting]をクリックすると、Command & Information Window に図-5.5 のような[Setting]コマンドの入力画面が現れる。ここで、{3D Viewer Sky Style}は Virtual View Wind の背景色を、{command window Width}と{3D Viewer Height}はそれぞれ Command & Information Window の横寸法と、Virtual View Wind の縦寸法を指定するものである。また、{Session time out}は当該システムで一切の操作が行わない状態がある一定時間以上継続すると、Log out する時間を指定する。さらに、{Delete cookie when logout}は Log out 時にクッキーを消去するか否かを指定するものである。

## (2) [Data] に実装されるコマンド群

[Data]を開くと、図-5.6 のように[Data]に実装されるコマンド群が表示される。{GeoWorld}と{GeoDataSource}は、それぞれ GeoNetwork と GeoDataSource を作成・更新するためのコマンドであり、{Import/Export}は GeoDataSource を作成するための GeoDataSet をインポートしたり、作成した GeoDataSource を各種のファイル形式で出力したりするコマンドである。これらの操作方法の詳細は次節に譲るものとする。



図-5.6 [Data]に実装されるコマンド群

## (3) [GeoVizer] に実装されるコマンド群

[GeoVizer]を開くと、図-5.7 のように[GeoVizer]に実装されるコマンド群が表示される。ここで、{GeoLayer}は提供された GeoNetwork を指定することで任意の GeoWorld を構成するためのコマンド群であり、その操作の詳細は次節に示す。

それ以外のコマンド群は、Virtual View Window、Command & Information Window、および Menu Bar の相対的な寸法を調整するコマンド群である。このうち、{Refresh}はすべてのウインドウ状態を図-5.2 の初期画面状態に復帰する。また、{Default}は画面寸法のみを図-5.2 の初期画面状態に復帰する。

また、{Forward->}と{Back<-}は水平方向のウインドウ寸法をそれぞれ調整するコマンドで、[Forward->]は

Menu Bar を消去し、Virtual View Window と Command & Information Window を横方向にフルサイズ描画する。また{Back<-}は Menu Bar をデフォルト状態に復帰する。一方、{Max 3D Viewer}、{Min 3D Viewer}、および{Shrink 3d Viewer}は、Virtual View Window の鉛直方向寸法を最大、最小、縮小するコマンド群を、{Shrink InfoWnd}は Command & Information Window の鉛直方向寸法を縮小するコマンドをそれぞれ示す。これらのコマンド群の機能は、Vertical Screen Control Bar と Lateral Screen Control Bar によっても実行することができる。



図-5.7 [GeoVizer]に実装されるコマンド群

## (4) [データ項目] に実装されるコマンド

データ項目は大規模地下開発支援システムからデータベース上のデータを検索・処理するためのコマンドである。当該システムでは、データ検索を系統的に行うために、データベース上のデータを幾つかデータ項目に分類している。

[データ項目]を開くと、その下位に分類されたデータ項目が図-5.8 のように現れる。図に示されるように、当該システムでは瑞浪超深地層研究所プロジェクトの実施段階に準じ、データ

項目を、{調査・解析}、{設計}、{施工}、{観測}、ならびに{その他}に分類した。

これらのデータ項目の一つを選択すると、当該のカテゴリに属するデータの検索が可能となる。実際の、データ検索とその処理は、Virtual View Window 上、もしくは Command & Information Window 上で実施されるがその詳細は5.4節に示す。



図-5.8 [データ項目]下の分類

#### (5)[Query]、[Resources]、[Help]の実装予定

[Query]、[Resources]、[Help]は、[Help]の一部を除き、コマンド機能は実装されていない。[Query]はデータベースを直接操作する機能で、図-5.9 に示すように {Attribute Table}と{Spatial Query}のコマンド群からなる。これらは、3章で述べた SA(Static Attribute)・FCA (Frequently Changing Attribute)とSD(Spatial Data)に対応するデータである。また、[Resources]はデータベース化されていない地学オブジェクトを管理する機能を実装する予定である。

なお、[Help]は一般的な Help 機能を実装する予定であるが、現在はいずれのボタンをクリックしても図-5.10のような Help 画面が現れ、簡単なシステムの概要が示されるだけである。

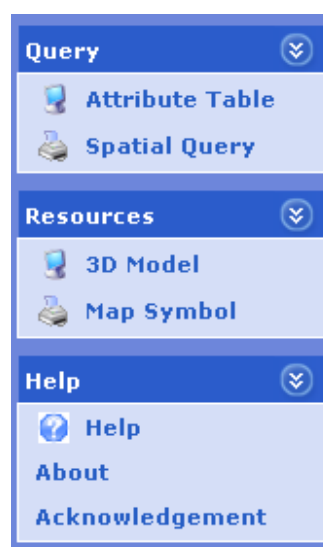


図-5.9 未実装コマンド群



図-5.10 Help 画面の呼び出し

### 5.3 瑞浪超深地層研究所の仮想現実モデル実装

瑞浪超深地層研究所プロジェクトで発生する各種幾何学オブジェクトにおいて、当該システムでデフォルトとして提供する GeoNetwork は図-5.1 に示すオブジェクト群である。表-5.1 には SA の諸元も合わせて示した。

表-5.1 仮想空間の主要構成要素一覧

GeoNetwork	構成要素細目	Static Attribute						
		OID	TMBB			A(Attribute)		
地表形状		oid	Ts	Te	Name	Description		
地質構造	Ss 地層分布	oid	Ts	Te	Name	Description		
	断層・破碎帯	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
調査ボーリング		oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
主立坑		oid	Ts	Te	Name	Description	Depth	
換気立坑		oid	Ts	Te	Name	Description	Depth	
予備ステージ坑道		oid	Ts	Te	Name	Description	Length	Depth
中間ステージ坑道		oid	Ts	Te	Name	Description	Length	
最深ステージ坑道		oid	Ts	Te	Name	Description	Length	
計測坑道 470		oid	Ts	Te	Name	Description	Length	Depth
計測坑道 470		oid	Ts	Te	Name	Description	Length	Depth
計測坑道 470		oid	Ts	Te	Name	Description	Length	Depth
地表建屋	研究所管理棟	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
	主立坑巻上機室	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
	換気立坑巻上機室	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
	主立坑掘削タワー	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
	換気立坑掘削タワー	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
	コンクリート・プラント	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	
	作業員詰所	oid	Ts	Te	Name	Description	Memo	

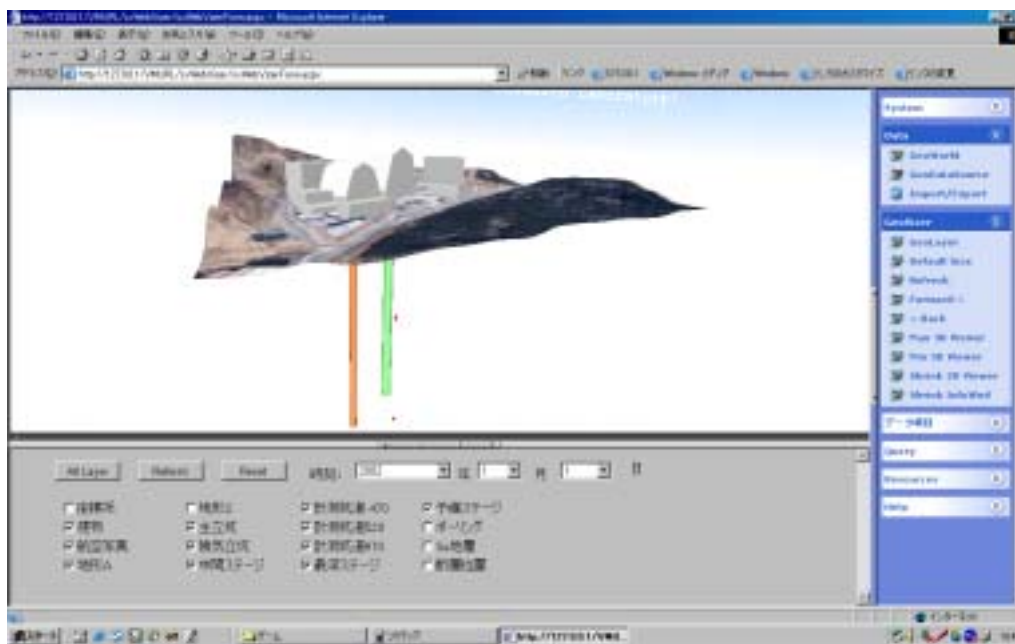
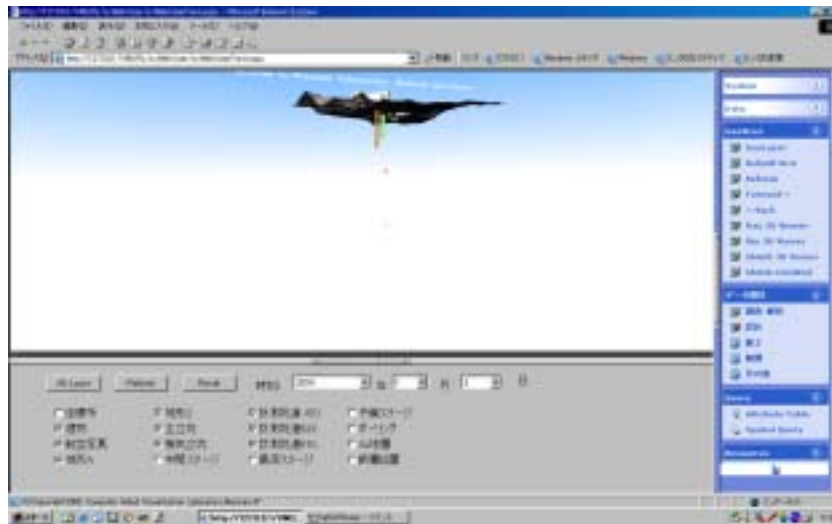


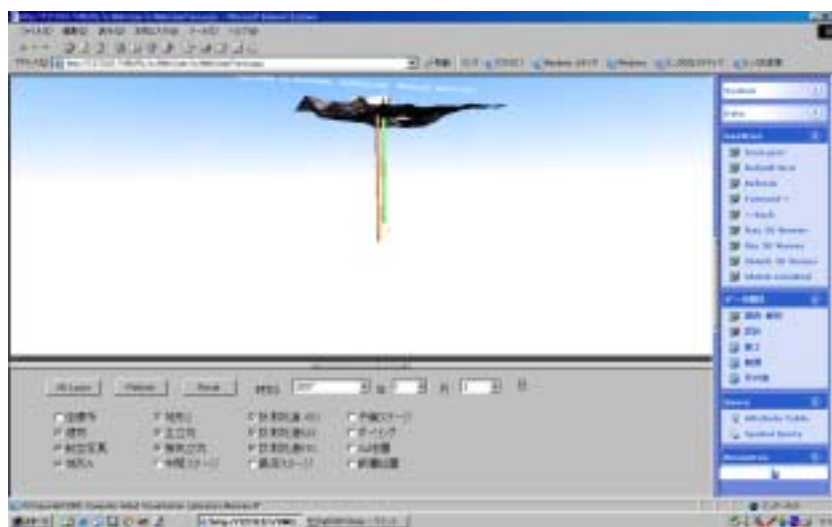
図-5.11 {Geo Layer}コマンドの実行

[GeoVizer]において、{Geo Layer}コマンドをクリックすると、Command & Information Window 上に年・月・日を入力する時刻ボックスと、{All Layer}、{Refresh}、{Reset}のボタン群、ならびに提供されている GeoNetwork の一覧とこれを指定するチェック・ボックスが現れる。

これらのボタンやボックスを用いて、以下の要領で任意の瑞浪超深地層研究所仮想現実世界を構築することができる。まず、時刻ボックスに表示したい GeoWorld の時刻を入力する。次に、GeoWorldとして表示したい GeoNetwork のチェック・ボックスをチェックして、{Refresh}ボタンをクリックすれば、その時刻と選択した GeoNetwork に応じた GeoWorld が Virtual View Window 上に描画される。このとき、{All Layer}をクリックすれば提供されたすべての GeoNetwork が選択され、GeoWorld として描画される。また、{Reset}をクリックすれば描画された GeoWorld は消去される。



(a)2004 年 1 月 3 日の立坑掘削状況



(b) 2007年 1 月 3 日の立坑掘削状況

図-5.12 GeoWorld の時刻変化による立坑モデルの変化

図-5.12(a)は、GeoWorld の時刻を 2004 年 1 月 3 日として、立坑掘削状況を見るために GeoWorld を斜め下方から俯瞰した画像を示す。一方、図-5.12(b)は、GeoWorld の時刻を 2007 年 1 月 3 日として、同じ方向から俯瞰した画像である。このように、GeoWorld の時刻を入力することで、直ちにその時刻における施工状況を GeoWorld として、Virtual View Window 上に描画できるだけでなく、GeoWorld 上の地学モデルと関連付けられた FCA もこれに連動するため、膨大なデータを遡ることなく、その時刻までに採取されたデータにアクセスすることが容易となる。

この GeoWorld 時刻とモデル形状の連動は、表-5.1 の SA 欄中の 'Depth'、あるいは 'Length' の要素によって実行される。すなわち、掘削深度や空洞延長をこれらの要素で表現することで、時刻歴に対応した空洞形状を描画している。言い換えれば、地形や断層情報等は時間的に安定した情報であるものとして取り扱っている。

なお、Virtual View Window 上における GeoWorld の基本的な画像操作は以下のようなものである。まず、マウスを右クリックしたまま移動すると、GeoWorld はマウスの移動方向に平行移動し、左クリックしたまま移動すると GeoWorld はマウスの移動方向に回転する。さらに、{Shift} キーを押した状態で、左クリックしたままマウスを移動させると、移動方向によって拡大、あるいは縮小する。

#### 5.4 データベースの検索・処理機能

データベースの検索処理機能は、現在、一部しか実装されておらず、その処理も検索したデータを Command & Information Window 上に表示するにとどまっている。これは、データの種類によって最適なデータ処理方法、ならびに表示方法が異なり、それらに適した機能の設計と実装に膨大な時間を要するためである。

2章で述べたように、大規模地下開発の場で発生する膨大なデータを直感的にアクセスし、効率的に処理するとともに、多様な表現が可能な機能を実装することのできるフレームワークを設計することにある。したがって、個別のデータ処理機能やその表示機能の設計は、今後の研究課題とした。

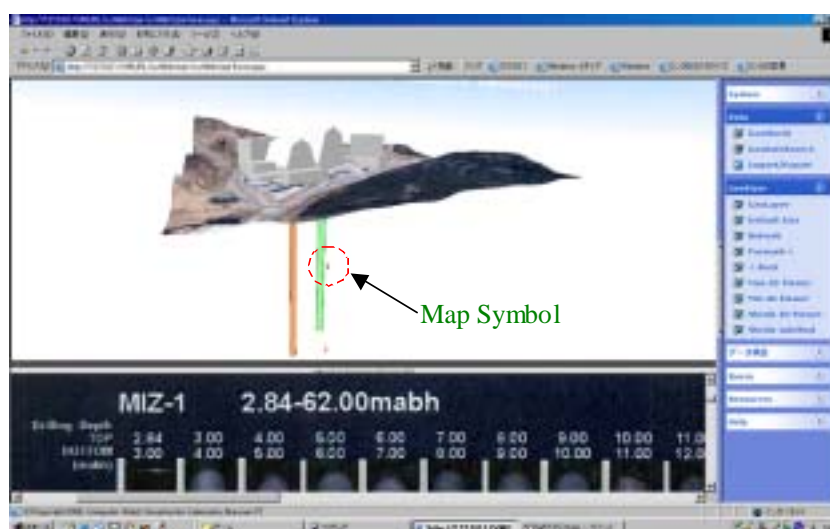


図-5.13 Map Symbol によるデータの呼び出し

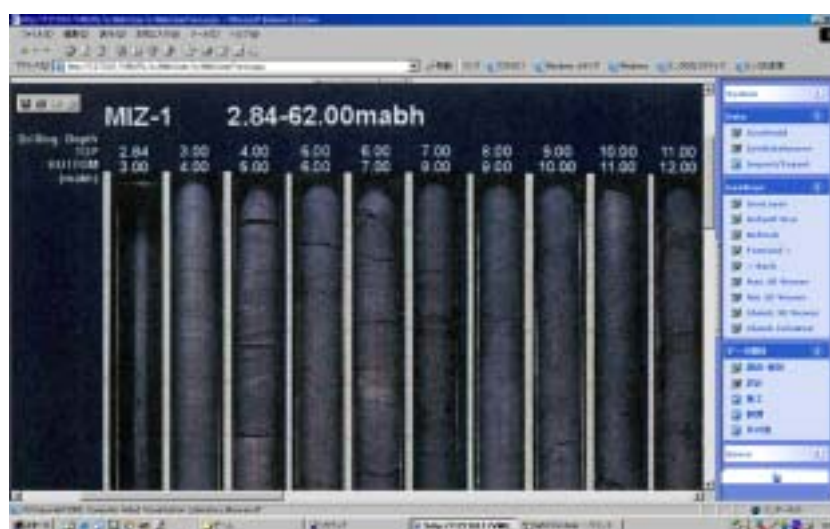
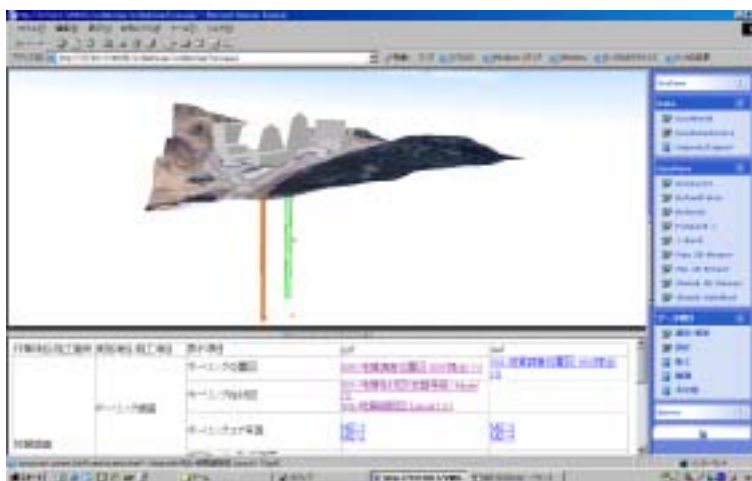


図-5.14 MIZ-1 深層ボーリング写真



当該システムにおいて、最も直接的にデータにアクセスする方法は、Map Symbol によるデータアクセスである。Virtual View Window 上には、図-5.13 のようにデータ項目の種類によって異なる形状をしたマークが埋め込まれている。これを Mark Symbol と呼び、これをダブルクリックすると図-5.14 のように Command & Information Window 上に MIZ-1 と呼ばれる深層ボーリングタのボーリング写真が表示される。

現在は、当該の Mark Symbol からボーリング写真だけが呼び出されているが、これにメニューを設けることで MIZ-1 深層ボーリングデータの多様なデータにアクセスできる機能を整備することを計画している。現在、そのために既存データの整理が行われている。なお、Mark Symbol の設定は Menu Bar の[Resources]-[Mark Symbol]にて実施する予定であるが、Mark Symbol を設定できるのは、当該の GeoWorld 時刻において存在するデータのみである。図-5.14 にフル画面表示した MIZ-1 深層ボーリングのボーリング写真を示す。



(a) 調査・解析に関するデータの一覧表呼び出し



(b) 調査・解析に関するデータの一覧表

図-5.15 [データ項目]からのデータアクセス

同様の操作は、Menu Bar の[データ項目]からも実行できる。今、[データ項目]を開いて{調査・解析}を指定すると、**図-5.15(a)**のように Command & Information Window 上に当該プロジェクトにおける調査・解析に関するデータの一覧表が表示される。**図-5.15(b)**は Command & Information Window をフル画面表示して、その一覧表の全体を示したものである。図に示されるように、当該の GeoWorld 時刻においてアクセスすることのできるデータは表中に青い文字で記述され、これを選択すると Command & Information Window 上に当該の情報が表示される。なお、

以上のように、大規模地下開発支援システムから直感的に各種データにアクセスする機能を設計し、実装した。今後、瑞浪超深地層研究所プロジェクトにおいて発生するデータを整理するとともに、それぞれのデータに適したデータ処理機能とその表示機能を設計し、実装してゆく方針である。なお、**表-5.2**に今後整備を進める予定の瑞浪超深地層研究所プロジェクト関連データの一覧を示す。

表-5.2 整備予定の瑞浪超深地層研究所プロジェクト関連データ一覧(1)

ステージ	作業項目/施工箇所	実施項目/施工項目	表示項目	
調査・解析	地質調査	ボーリング調査	ボーリング位置図	
			ボーリング柱状図	
			ボーリングコア写真	
			ボアホール・カメラ写真	
		弾性波トモグラフィ	測定実施位置図	
			弾性波速度分布図	
		比抵抗トモグラフィ	測定実施位置図	
	比抵抗分布図			
	3次元地質構造図	地層境界		
		断層・破砕帯分布		
	岩石試料試験	一軸圧縮強度試験	一軸強度、弾性係数、ポアソン比	
		三軸圧縮強度試験	粘着力、内部摩擦力	
	地山挙動解析	挙動予測	一般部	地山変位分布図
地山ひずみ分布図				
地中変位分布図				
覆工応力図				
接続部			地山変位分布予測図	
			地山ひずみ分布図	
			ロックボルト軸力図	
			地中変位分布図	
		吹付けコンクリート応力図		
設計	立坑部	掘削	発破計画	標準発破パターン図
			掘削進捗計画	計画火薬消費量
		覆工	掘削進捗アニメーション	掘削進捗アニメーション
			覆工形状	覆工寸法図
			コンクリート配合	立体覆工モデル
		排水	覆工配筋	コンクリート配合表
	排水設備設置計画		立体覆工配筋図	
	機械	計画排水設備設置図	計画排水配管図	
	予備ステージ	掘削	掘削進捗計画	掘削進捗アニメーション
			掘削進捗アニメーション	掘削進捗アニメーション
		支保	支保計画	標準支保パターン図
			支保品質	吹付けコンクリート配合表
		機械	吹付けコンクリート配合表	吹付けコンクリート配合表
			掘削進捗アニメーション	掘削進捗アニメーション
	中間ステージ	掘削	掘削進捗計画	掘削進捗アニメーション
			掘削進捗アニメーション	掘削進捗アニメーション
		支保	支保計画	標準支保パターン図
			支保品質	吹付けコンクリート配合表
		機械	吹付けコンクリート配合表	吹付けコンクリート配合表
			掘削進捗アニメーション	掘削進捗アニメーション
	最深ステージ	掘削	掘削進捗計画	掘削進捗アニメーション
			掘削進捗アニメーション	掘削進捗アニメーション
		支保	支保計画	標準支保パターン図
			支保品質	吹付けコンクリート配合表
機械		吹付けコンクリート配合表	吹付けコンクリート配合表	
		掘削進捗アニメーション	掘削進捗アニメーション	

表-5.2 整備予定の瑞浪超深地層研究所プロジェクト関連データ一覧(2)

ステージ	作業項目/施工箇所	実施項目/施工項目	表示項目	
施工	立坑部	掘削	掘削実績	掘削実績進行アニメーション
			火薬使用実績	火薬消費実績表
		覆工	覆工打設実績	覆工打設進行アニメーション
			コンクリート品質管理	覆工コンクリート打設量
				コンクリート試験結果一覧
		排水	排水設備設置	排水設備設置アニメーション
			排水実績	排水実績図
		変状	崩落・変状発生	崩落・変状状況写真
				対策工検討表
	対策工設計図面			
	予備・中間・最深ステージ	掘削	掘削実績	掘削進行アニメーション
			火薬使用実績	発破消費実績表
		支保	支保施工実績	ロックボルト施工実績図
				吹付けコンクリート施工実績図
支保品質管理			鋼製支保工施工実績図	
			吹付けコンクリート試験表	
	ロックボルト引き抜き試験結果			
観測	現場計測	一般部	内空変位計測	内空変位分布図
				内空変位経時変化図
			地中変位計測	地中変位分布図
			地中変位経時変化図	
		覆工応力測定	覆工応力分布図	
			覆工応力経時変化図	
		予備・中間・最深ステージ	内空変位計測	内空変位分布図
				内空変位経時変化図
			地中変位計測	地中変位分布図
	地中変位経時変化図			
	ロックボルト軸力計測		覆工応力分布図	
			覆工応力経時変化図	
	吹付けコンクリート応力測定	吹付けコンクリート応力分布図		
		吹付けコンクリート応力経時変化図		
	地山観察	一般部	側壁観察	側壁地質スケッチ画像
				側壁写真画像
				側壁熱画像
		底盤観察	底盤地質スケッチ画像	
底盤写真画像				
予備・中間・最深ステージ		切羽観察	切羽地質スケッチ画像	
	切羽写真画像			
	切羽熱画像			

## 6. 報告書の総括

本報告書の各章において得られた知見を以下に示す。

1章はまえがきであり、1.1節において21世紀における地下空間利用のあり方を述べるとともに、地下構造物の持つ特性である時間的な柔軟性と、地下構造物設計・施工・運用の場で発生する各種情報を包括的に収集・処理することの重要性を示した。これを受けて、これまでの地下構造物観測化施工とその設計・施工支援システムの問題点を整理し、今日水準の情報処理技術のもとでそのシステムがいかなる構造と機能を有すべきかについて述べ、本研究において展開する「Web3DとRDBMを援用した大規模地下開発支援システム」の目的とその機能を定義した。

すなわち、本研究の目的はRDBMSとWeb3Dを援用することで、大規模地下開発の場で発生する多様な情報を包括的に管理するとともに、直感的なデータアクセスと効率的なデータ処理・分析を可能なシステムのフレームワークを設計することにある。このため、現在、わが国で最も大規模な地下開発プロジェクトの一つである瑞浪超深地層研究所構築工事をモデルプロジェクトとし、当該プロジェクトでこれまでに採取された各種データを設計されたシステムに実装することで、設計したシステムの実務的な実用性の検証を実施する。1.2節では当該プロジェクトの概要とそのこれをモデルとした仮想現実空間の構築方針を記した。

2章では、仮想現実技術(Virtual Reality)とRDBMSを連携させることで、直感的なデータ検索を可能とするためにVirtual Design and Constructionの手法を援用することを提案した。すなわち、対象とする大規模地下開発の仮想現実空間、ならびに仮想時間をパーソナルコンピュータ上に構築し、その中でこれまでに蓄積された各種情報へとアクセスし、情報を種々に加工することで意思決定を助けようとするものである。

このため、2.2節において当該システムの要求性能を整理し、これを実現させるために導入した仮想現実技術Web3Dの概要とその特徴を示した。これらを受けて2.3節では、「Web3DとRDBMを援用した大規模地下開発支援システム」の基本構造とそのフレームワークを示した。すなわち、当該システムは大きく①DataBase、②Process&Analysis、ならびに③Presentation&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用いて設計され、③はWeb3Dによって設計される。したがって、システムはWeb上に構築されることになり、各機能間のデータのやり取りはXML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、SOAPにより、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、SVGにより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。

3章では、当該システムに導入する時間フレームワークを設計するとともに、これに従ったデータモデルの定義と SQL によるデータモデルの記述を示した。

3. 2節では RDBMS の基本概念である関係データモデルの概要とその改良モデルについて述べ、3. 3節で当該設計に導入した分散型タイム・セグメント方式とそれに関連付けられたデータベース構造の設計を行った。ここで導入された当該システムの時間空間はそれぞれのデータ形態に適したタイム・セグメントで分割されるものであり、そのデータは以下のような構造で継承される。すなわち、時間軸は任意のスパンで多数のタイム・セグメントに分割されるが、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。

このようなデータ構造をとる場合、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）状態にとどめることが可能となるため、効率的なデータ処理が可能となる。

さらに、3. 4節ではその具体的なデータモデルの定義と、SQL によるデータモデル記述を行った。すなわち、地学データの世界をデータセットによって分類し、それぞれの地学テーマは、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する。さらに、これらはそれぞれ空間情報 SD、時間に鋭敏な特性 FCA、ならびに時間的に安定な特性 SA は、変数群 OID (Object Identifier)、SMBB (Spatial Minimum Bounding Box)、TMBB (Temporal Minimum Bounding Box)、A (Attribute) によって表現されるものとする。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 (Main Key) 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 (Foreign Key) 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。

このようなデータ構造が採用された場合、任意のタイム・セグメント初期状態に前タイム・セグメントの情報を継承すれば、そのタイム・セグメントで発生する情報の生成・変化・消滅は FCA にのみ反映されることとなり、データの冗長 (Redundancy) を減少することができ、効率的なデータ管理が可能となる。

4章では、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3章で述べた構造でデータベース化する方法について述べた。

4.1節では、多層化された仮想現実空間の構造と、その地学オブジェクトのデータベース化について述べた。すなわち、仮想現実世界の要諦は現実世界をあまねく仮想化することにあるのではなく、必要とする情報を的確に認知し得る仮想世界を構築することにある。この意味において、当該システムで構築する仮想現実世界を **GeoWorld** と名付け、ユーザーの要求に従う可変な仮想現実世界を構築するため、**GeoWorld** を **GeoNetwork** の集合体として構築する手法を提案した。

ここで、**GeoNetwork** は、ユーザによって定義される機能や目的によって分類された地学オブジェクト群の集合であり、**GeoWorld** を構成する単位オブジェクトである。**GeoNetwork** は、データベース上にあるさらに分化した地学オブジェクト・データ群 **GeoDataSource** (3章で定義された **SD** に相当)と、これに関連した **GeoInfoLibrary** (**SA**、**FCA** に相当)を関係データモデルによって一次結合することによって作成される一つのデータ・モデルである。したがって、当該システムは仮想現実空間をも **RDBMS** によって管理することとなる。

このため、4.2節では **XML** と **RDBMS** により多層化された仮想現実空間の可視化手法を示し、4.3節でデータベース蓄積される地学オブジェクト・モデルの実際とその基本オブジェクト群を示した。

5章では、以上のフレームワーク設計と構造設計を基に、瑞浪超深地層研究所プロジェクトを対象としたデータの実装を行い、そのシステム機構を紹介した。





## Appendix A : MySQL の基本的な操作

大規模地下開発支援システムは Open Source の RDBMS 言語 MySQL を用いてデータベースの管理を行った。以下、RDBMS の基本操作( テーブルの作成、テーブルの変更、およびテーブルの削除)、制約条件、およびデータ操作等に関する MySQL の基本的な構文を以下に示す。

### A.1 RDBMS の基本操作

#### A.1.1 テーブルの作成 <CREATE TABLE>

テーブルの作成には CREATE TABLE 文を用いる。CREATE TABLE 文の構文は、以下のとおりである。

```
CREATE TABLE テーブル名 (列名 データ型 , .....);
```

CREATE TABLE の後にテーブル名を、その後ろの部分にカッコで囲みフィールド名称(列名)とデータ型を設定する。

CREATE TABLE 文は行のない空のテーブルを作成する構文であり、値は INSERT INTO 文を用いて入力する。CREATE TABLE 文は基本的に指定された順番に並んだ名前の付いた列の集合を説明するものとして、テーブル名を定義する。また、同時に列のデータ型とサイズも定義し、テーブルは列を 1 つ以上持たなければならない。

#### A.1.2 テーブルの変更<ALTER TABLE>

テーブルの変更は ALTER TABLE 文で行う。ALTER TABLE は以下の機能を備えている。すなわち、

- テーブルに列を追加する
- テーブルから列を削除する
- テーブルにテーブル制約を追加する
- テーブルからテーブル制約を削除する
- 列にデフォルト値を追加する
- 列からデフォルト値を削除する

テーブル制約 (CONSTRAINT) とは、テーブルの列に入力できる値を制限するテーブル定義の一部を意味する。また、デフォルト値とは、テーブルへの INSERT INTO 文に列の値

が指定されなかった場合に、そのテーブルの列に自動的に挿入される値を意味する。ALTER TABLE 文の構文は次のとおりである。

1) 列の追加

ALTER TABLE テーブル名 ADD [COLUMN] 列名 データ型 ;

2) 列を削除

ALTER TABLE テーブル名 DROP [COLUMN] 列名 [ RESTRICT | CASCADE ] ;

3) テーブル制約の追加

ALTER TABLE テーブル名 ADD テーブル制約の定義 ;

4) テーブル制約の削除

ALTER TABLE テーブル名 DROP CONSTRAINT テーブル制約定義 [ RESTRICT | CASCADE ] ;

5) デフォルト値の追加

ALTER TABLE テーブル名 ALTER [COLUMN] 列名 SET DEFAULT デフォルト値 ;

6) デフォルト値の削除

ALTER TABLE テーブル名 ALTER [COLUMN] 列名 DROP DEFAULT ;

なお、上の構文の中に示した [ COLUMN ] は省略可能である。また、 [ RESTRICT | CASCADE ] は、RESTRICT 句と CASCADE 句のいずれかを記述するという意味であり、RESTRICT 句が指定された場合は、指定した表がビューや整合制約により参照されたものである場合は変更は行われない。CASCADE 句が指定された場合は、列を参照するビューは変更されず、それらは破棄される。

### A.1.3 テーブルの削除 <DROP TABLE>

テーブルの削除は、実際には 2 段階のプロセスからなる。まず DELETE 文によりテーブルのデータを空にし、次に DROP TABLE 文を用いてテーブルの定義を破棄する。すなわち、DROP TABLE は空のテーブルを削除するものであり、データを破棄するものではない。DROP TABLE 文の構文は以下のとおりである。

DROP TABLE テーブル名 [ RESTRICT | CASCADE ] ;

RESTRICT 句が指定された場合は、指定した表がビューや整合制約により参照されたもの

である場合、削除は行われない。CASCADE 句が指定された場合は、ビューや整合制約も削除される。

## A.2 データ値の制約

SQL の表定義ではデータ値に制約を持たせることで、登録されるデータが常に正しい状態を保つことができる。制約には「列制約」と「テーブル制約」という 2 つの基本制約がある。両者の違いは、列制約が列のみに適用されるのに対し、テーブル制約が列のグループに適用される点にある。

CREATE TABLE 文では、列定義のデータ型の後ろに列制約を追加し、最後にカンマをつける。なお、テーブル制約は、テーブル定義の最後の列定義を後ろに配置し、最後に閉じカッコをつける。制約を追加して拡張した CREATE TABLE 文の構文は以下のとおりである。

```
CREATE TABLE テーブル名 (列名 データ型 列制約..., ....., ....., テーブル制約);
```

テーブル制約は A.2 節で説明した ALTER TABLE 文を使用することで、作成済のテーブルに追加することもできる。

### A.2.1 主キーの指定 <PRIMARY KEY>

主キーとは、ベーステーブルの各行を一意に識別するための 1 つ以上の列のグループを意味する。主キーは NULL を持たず、一意であることを保障するために制約が適用される。なお、ベーステーブルとは他のテーブルから抽出されたデータが含まれないテーブルのことである。

### A.2.2 FOREIGN KEY 制約

SQL は、FOREIGN KEY 制約による参照整合性をサポートする。この制約は、外部キーと親キーに参照整合性の原則を守らせるために、ユーザがデータベースに入力できる値を制限するものである。FOREIGN KEY 制約の適用には、親キーにまだ存在しない値を除外するよう、外部キー列を制限するという効果がある。

なお、FOREIGN KEY は他の制約と同じように CREATE TABLE 文（または ALTER TABLE 文）に使用され、制約には参照する親キーを指定する。テーブル制約または列制約となり、テーブルの場合は複数の列を 1 つの外部キーとして使用することが可能である。FOREIGN KEY 制約の構文は次のとおりである。

・テーブル制約

```
FOREIGN KEY 列リスト REFERENCES 親テーブル(列リスト);
```

・列制約

REFERENCES 親テーブル(列リスト) ;

構文から分かるように、列制約には FOREIGN KEY が含まれていないため、REFERENCES 制約とも呼ばれる。

### A.3 データ操作

#### A.3.1 データの入力 <INSERT INTO>

既に表が定義されていて、その表へデータを入力する場合の基本的な構文は以下のようなものである。

```
INSERT INTO テーブル名 (列名 , 列名 ,.....) VALUES(データ , データ ,.....);
```

上記の構文において、INSERT INTO 直後のカッコ中には、データを入力する列名を入力する順番に記述する。ここで指定されない列に対しては、デフォルト値が設定されている場合はデフォルト値が、デフォルト値が設定されていない場合は NULL 値が登録される。デフォルト値が指定されず、NOT NULL が指定されている場合、INSERT INTO 文は失敗する。なお、あらかじめ列制約やテーブル制約により、入力できる値に制限があるような場合は、その制約に従う値を入力しなければならない。また、すべての列にデータを入力する場合、カッコは省略される。

VALUES の後ろのカッコには、実際に入力するデータを記述する。このとき、INSERT INTO の後ろのカッコ内で指定した列の順番に対応するようデータを記述する必要があり、またそれぞれの列のデータ型に従わなければならない。

#### A.3.2 データの変更 <UPDATE>

SQL では、登録データに複数の条件を与えて一括で変更することも、1 つの行や列を指定して、その部分のみを変更することも可能である。データの変更には UPDATE 文を使用し、その基本的な構文は以下のとおりである。

```
UPDATE テーブル名 SET 列名 = データ, 列名 = データ ,.... ;
```

変更するデータは、列のデータ型に従うものでなければならない。また、また列制約やテーブル制約により入力できるデータが制限されている場合、それ以外のデータに変更はできない。他のテーブルから参照されている値を含むものも変更できない。

### A.3.3 データの削除 <DELETE>

SQL では DELETE 文を用いることでデータの削除を行う。WHERE 句で条件を指定して、削除すべきデータを特定することも可能である。基本的な構文は以下のとおりである。

DELETE FROM テーブル名 ;

上記の構文では指定したテーブルのデータをすべて消去するが、他のテーブルから外部参照されている値を含むデータは削除できない。DELETE 文でテーブル内のデータを消去した後に DROP TABLE 文を実行すれば、表を削除することができる。

## Appendix B : XML の基礎的事項について

### B.1 XML 概論

XML は“eXtensible Markup Language”の略であり、“SGML<sup>1</sup>(Standard Generalized Markup Language)”という文書フォーマットのオープンスタンダードの流れを汲んだ言語である。複雑すぎるとされた SGML から機能を抜き出して整理するとともに、HTML<sup>2</sup>(Hyper Text Markup Language)のように Web の機能を利用することを可能としたため、“拡張可能なマークアップ言語<sup>3</sup>”と翻訳されることもある。

XML と HTML の最大の違いは、タグの自由度にある。HTML では、あらかじめ使えるタグの名前や機能が定義されているが、XML は利用者がタグを自由に定義できる。すなわち、ユーザーが、タグを用いて、データに書式や意味づけを自由に行うことができる。

XML 仕様に従って作成されたデータは“XML 文書(XML Document)”と呼ばれる。XML 文書はテキストファイルとして作成されるため、エディタで開けばどんなデータが含まれているのか確認でき、タグによってデータにどんな属性が付けられているのかも理解が容易である。さらに、データ変換も容易なため、アプリケーション間でデータ交換を行う場合のフォーマットとして非常に優れた構造を備えている。

### B.2 XML の記述法

XML 文書を構成する「内容」、「構造」、「体裁」という 3 つの要素は、従来の紙媒体ではひとつとなって決定されている。HTML における情報表現においても、HTML によってタグ付けされた構造のままに、閲覧者に提供されるものであり、これら 3 つの要素が強固に一体化されている。

図-B.1 に示すように、XML ではこれら 3 つの要素を分離して扱う。“内容”は XML 文書内でマークアップされるが、その XML 文書の“構造”は DTD(Document Type Definition)と呼ばれる構造定義体によって定義する。また、XML 文書に与える体裁はスタイルシートにより記述する。XML に適用できるスタイルシートには CSS<sup>4</sup>(Cascading Style Sheet)と XSL<sup>5</sup>(eXtensible

---

1 文書の論理構造、意味構造を記述する言語。タイトル、引用部分、著者など文書の中で特別な意味をもつ部分にマーク付けをすることができる。

2 Web ページを記述するためのマークアップ言語。W3C が作成している規格で、文書の論理構造や見栄えなどを記述するために使用される。また、文書の中に画像や音声、動画、他の文書へのハイパーリンクなどを埋め込むこともできる。

3 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、もちろん編集もできる。代表的なマークアップ言語としては、SGML、HTML、TeX などがある。XML(eXtensible Markup Language)はタグを使用した囲み方は規定しているが、タグの意味は規定していない、メタ言語と呼ばれるものである。メタ言語はタグの意味を規定するスキーマ言語と組み合わせてマークアップ言語になる。

4 Web ページのレイアウトを定義する規格。これまで、Web ページのレイアウトは HTML を用いて記述され、HTML にはレイアウトに関する仕様が大量に取り込まれたが、これは、文書の論理構造を記述

Style sheet Language)の2種類がある。

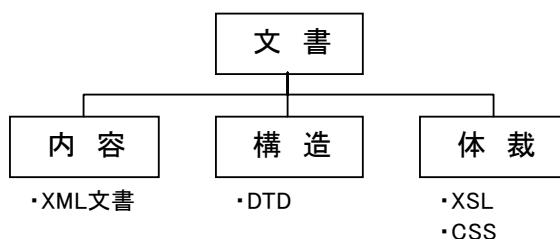


図-B.1 XML 文書の構成

## B.2.1 XML 宣言と XML インスタンス

XML ファイルは、まず先頭に XML 仕様のバージョン番号と、XML 文書作成に使用する文字コードを宣言する XML 宣言(XML declaration)が記述される。

```
<?xml version = "1.0" encoding = "Shift_JIS"?>
```

“encoding=”に続く部分では XML 文書作成時に使用される文字コード(Shift\_JIS、UTF-8 等)を指定するが、文字コードが Unicode(UTF-8、UTF-16)の場合は“encoding =”の部分を省略してもよい。この部分を省略する場合には、XML 宣言そのものを省略することもできる。

この XML 宣言に引き続き、XML インスタンスの記述が始まる。XML インスタンスとは、実際の内容にタグが付けられている部分、つまり XML 文書の本体のことである。この部分の文法を理解するには、“要素(element)”と“属性(attribute)”について理解しなければならない。

### B.2.1.1 要素の記述

XML インスタンスに現れる要素の1つ1つは図-B.2のように記述される。図-B.1において、開始タグと終了タグで囲まれる部分を要素(element)と呼び、XML では、開始タグと終了タグは記述しなければならない(HTML では、タグの省略が許される場合がある)。

---

するという本来の HTML の目的に反するため、文書の視覚的構造を規定する枠組みとして CSS が新たに策定された。CSS を使うと、フォントや文字の大きさ、文字飾り、行間などの見栄えに関する情報を文書本体(および文書の論理構造を記述した HTML)から切り離すことができ、ユーザが複数のレイアウトから適当なものを選択することができるようになる。WWW に関する標準化団体 W3C で標準化されている。

<sup>5</sup> Microsoft 社、Inso 社、ArborText 社の3社を中心に提案された、XML 文書の見栄え(スタイルシート)を記述する言語



図-B.2 内容の構成

要素の内容には、文字列だけではなく、他の要素と文字列を混在させることも可能である。例えば、図-B.3の例では“LOD”という要素の中に“Tile”という要素が含まれている。このとき、“LOD”を親要素、“Tile”を子要素と呼ぶ。

```

<LOD value="0" Tiles="16" width="6000" height="680">
  <Tile ID="0">RGB_6000_0_0.bmp</Tile>
  <Tile ID="1">RGB_6000_0_1.bmp</Tile>
  <Tile ID="2">RGB_6000_0_2.bmp</Tile>
  <Tile ID="3">RGB_6000_0_3.bmp</Tile>
  <Tile ID="4">RGB_6000_1_0.bmp</Tile>
  <Tile ID="5">RGB_6000_1_1.bmp</Tile>
  <Tile ID="6">RGB_6000_1_2.bmp</Tile>
  <Tile ID="7">RGB_6000_1_3.bmp</Tile>
  <Tile ID="8">RGB_6000_2_0.bmp</Tile>
  <Tile ID="9">RGB_6000_2_1.bmp</Tile>
  <Tile ID="10">RGB_6000_2_2.bmp</Tile>
  <Tile ID="11">RGB_6000_2_3.bmp</Tile>
  <Tile ID="12">RGB_6000_3_0.bmp</Tile>
  <Tile ID="13">RGB_6000_3_1.bmp</Tile>
  <Tile ID="14">RGB_6000_3_2.bmp</Tile>
  <Tile ID="15">RGB_6000_3_3.bmp</Tile>
</LOD>

```

図-B.3 要素の親要素と子要素(図-5.3 より抜粋)

このように、XML 文書は、親要素から子要素、そのまた子要素というように要素を階層的に作り上げることで成り立っている。ある要素の開始タグと終了タグの対の中に、子要素として別の要素の開始タグと終了タグを入れ子にして書くことによって階層関係を作るのである。例えば、要素 A の下位に要素 B と要素 C を入れ子にしてタグ付けするには、次のような書き方をする。

```

<要素 A>
  <要素 B> ----- </要素 B>
  <要素 C> ----- </要素 C>
</要素 A>

```

階層化された要素のタグ付けに際しては、上位下位の関係がわかるように開始タグと終了タ



グの対応をきちんと取る必要がある。なお、要素には、その内容に子要素も文字列も持たない「空要素」と呼ばれる要素がある。記述法は次のとおりである。

<要素名 />

上記のタグは内容が空の要素、すなわち< 要素名 ></ 要素名 >とみなされ、例外的に単独で用いることができる。

### B.2.1.2 属性の記述

図-B.4 の XML 文書のサンプルで、<Tile ID= "1">という開始タグがある。この中の ID = "1" の部分は、属性(attribute)と呼ばれるもので、要素に付加的な情報を与えるために存在する。属性は開始タグの中で次のように記述する。

<要素名 属性名="属性値".....>

属性は開始タグに複数指定することも可能であり、また空要素にも設けることができる。例えば、次のような書き方をして、ファイルへのパスを属性 file の属性値として示したグラフィックデータを表す空要素が考えられる。

<graphic file = " http://www.utj.co.jp/graphics/sample1.gif "/>

### B.2.2 DTD( Document Type Definition)の記述方法

DTD は文書型定義と訳される。図-B.4 にその一例を示す。

```
<!ELEMENT 断層 (名称、特性)>
<!ELEMENT 特性 (走向、傾斜)>
<!ELEMENT 走向 (#PCDATA)>
<!ELEMENT 傾斜 (#PCDATA)>
<!ATTLIST 断層 登録番号 CDATA #REQUIRED>
```

要素型宣言 ←

図-B.4 DTD の例

DTD の中で、XML 文書中で使用するタグ名や属性名、またその入れ構造を定義する。DTD に記述する宣言は、次の 4 つである。

- 1) 要素型宣言
- 2) 属性リスト宣言

- 3) エンティティ宣言
- 4) 記法宣言

以下に、要素型宣言と属性リスト宣言についてのみ説明を加える。

### B.2.2.1 要素型宣言

要素型宣言は、XML 文書中で使用できる文書要素を定義するもので、要素名、要素の親子関係、要素の内容モデルを次のように記述して指定する。

```
<!ELEMENT 要素名 内容モデル>
```

例えばテキストを内容として持つ“名称”という要素は次のように宣言する。

```
<!ELEMENT 名称 (#PCDATA)>
```

ここで、#PCDATA はテキストを表すキーワードである。1 つの要素型宣言は、複数のレベルにわたる階層構造の 1 つのレベルを定める局所的なものである。これらを順に積み重ねることによって、文書(データ)全体の階層構造を作る。階層構造は何世代にもわたる親子関係で成り立っているので、最上位の要素からはじめて、子供と孫の関係、孫と曾孫の関係・・・というように要素型宣言を重ねていく。内容モデルには、子供の要素としてどのようなものの出現を許すかという指定を書く。このとき、子供として出現する要素に関する情報は、出現順序と出現回数で 2 つである。

図-B.4 の例では、“断層”という内容は“名称”と“特性”という二つの子要素を持ち、さらに“特性”は“走向”、“傾斜”の 2 つの子要素を持つ。そして、子要素はテキストとして与えられるという内容が記述されている。

### B.2.2.2 属性リスト宣言

属性リスト宣言は次のように書く。

```
<!ATTLIST 要素名 属性名 属性値の候補 "デフォルト値">
```

前述の DTD の例では、次のような属性リスト宣言が書かれていた。

```
<!ATTLIST 断層 登録番号 CDATA #REQUIRED>
```

これは、<断層> 要素には、登録番号という属性があり、その値は任意の文字列(CDATA)で

ある。この属性は省略してはならない(#REQUIRED)ということを表している。

### B.3 検証済み XML 文書と整形 XML 文書

XML 文書は、処理上の観点から 2 種類に分けられる。“整形 XML 文書(well-formed XML 文書)”と“検証済み XML 文書(valid XML 文書)”である。

整形 XML 文書とは、開始タグと終了タグの対応が取れており、かつ親要素と子要素がきちんと入れ子になっているなど、形式的に形が整った(well-formed)XML 文書を指して言う。つまり、DTD で規定されたタグ名や、構造に従っているかどうかは関係なく、形式的に整っているかどうかという観点からチェックを受けた XML 文書のことである。XML 文書は、必ず整形 XML 文書でなくてはならない。整形 XML 文書と検証済み XML 文書の関係を図示すると図-B.5 のようになる。

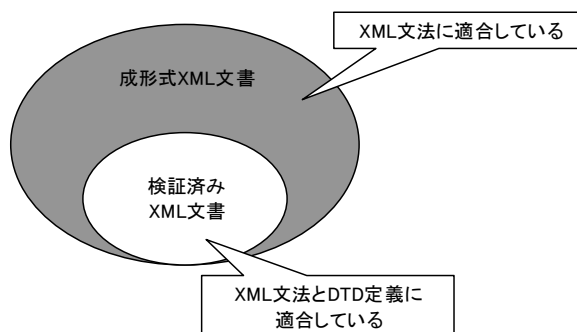


図-B.5 整形 XML 文書と検証済み XML 文書の関係

検証済み XML 文書とは、XML 文書を作成後チェックする際に、整形かどうかという観点からだけではなく、DTD で定義されているタグ名や構造などに従っているかどうかという点まで含めてチェックした XML 文書を指して言う。XML 文書を検証済み XML 文書にしたい場合は、DTD を参照しながらチェックを行う必要がある。

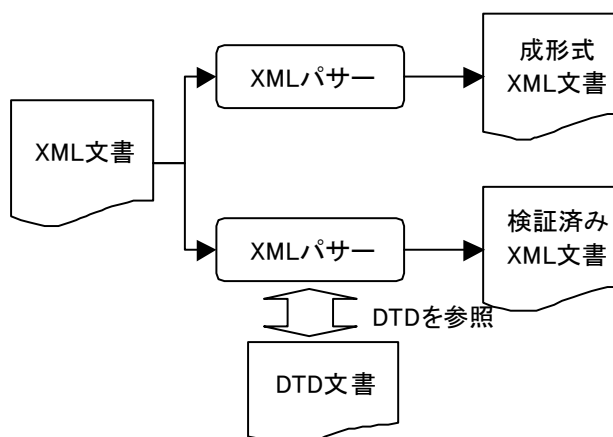


図-B.6 XML 文書と XML パーサーの関係

作成された XML 文書のチェックを行うのは、実際には XML パーサー(Parser)<sup>6</sup>と呼ばれるソフトウェアである。ある XML 文書

<sup>6</sup> XML 文書を、アプリケーションソフトが利用しやすい形に変換するソフトウェア。変換時に、XML

を、整形 XML 文書とするか、検証済み XML 文書とするかは、XML パーサーの使い方に依存する。XML 文書と XML パーサーの関係を図示すると図-B.6 のように示すことができる。

---

文書が文法に照らして正確に記述されているかどうかを同時に検証する。XML 文書はテキストファイルの形で存在するため、そのままソフトで利用することができない。個々のソフトの中に XML 文書を解釈するプログラムを持たせる方法もあるが、XML は一定の形式が定められているため、汎用的な解釈プログラムである XML パーサによって変換したデータをソフトが使うようにした方が効率がよい。アプリケーションソフトで XML 文書を扱う場合には、直接 XML 文書を読むのではなく、XML パーサを介するのが一般的になっている。

## 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)

さととう としのり  
佐藤 稔紀

現職:経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部

原子力産業立地・核燃料サイクル産業課 放射性廃棄物等対策室(工学博士)

(申請時:日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門)

主な著書・論文:

- ・Underground Research Laboratories in Japan - What are the important factors for Facilities Design (ICEM'03, 2003)
- ・In-situ experiment on excavation disturbed zone induced by mechanical excavation in Neogene sedimentary rock at Tono mine, central Japan, (Engineering Geology, 56, 2000, pp.97-108, )
- ・Seismic Velocity Structure of EDZ around the Drifts at the Kamaishi and Tono Mines in Japan ( Sci. Basis Nucl. Waste Manag. XXI, 1998, pp.813-820, )

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 技術研究所 土木研究開発部

(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)

# DEVELOPMENT OF SUPPORT SYSTEM FOR LARGE- SCALE UNDERGROUND STRUCTURES USING WEB 3D TECHNOLOGY AND RDBMS

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

<sup>1</sup>Muroran Institute of Technology <sup>2</sup>Japan Atomic Energy Agency <sup>3</sup>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.

This concept was used to develop a project management system for the Mizunami URL, and the validity of the design philosophy was verified.

**KEYWORDS:** *supporting system for large-scale underground structure, 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	Web3DとRDBMを援用した 大規模地下開発支援システムの開発	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テセグメントに分割する。書く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できる。</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>		