

地下に広がる未知の世界（岩盤地下空間利用と国際リニアコライダー計画）

地盤システム研究所 近久 博志
近久 恵子

1. はじめに

近年、日本における成長社会から成熟社会への変革は、社会の構成要素である建設構造物にまで影響を及ぼし、求められる建造物が、多様化し、複合化するようになった。特に、成長社会においては、止めどもなく発生する課題を、効率的に、数多く解決することが重要であったが、成熟社会では、専門技術者が社会のニーズの中に入り込み、自らの課題を見つけ出し、タイムリーに解決していくことが重要となってきた。こうした社会にある潜在的なニーズの掘り起こしとその実現化に向けた“知の創生時代”に入り、これまでの概念から離れた新しい価値観の創造に繋がるようなことが求められるようになってきている。本書では、紙面の関係から、関連施設の紹介に留めるが、講演では、社会の構造的な変化の中で、鉄道や道路やエネルギー関連施設で活用されてきた地下空間の構築技術の新しい展開について、国内外の事例を基にして、その背景にある社会ニーズとその解決策としての地下空間利用について紹介する。そして、将来の地下空間利用技術の展開として、2013年のノーベル物理学賞受賞に繋がったヒッグス粒子の発見に続き、宇宙の起源と宇宙の創造と終焉の解明、宇宙のダークマターやダークエネルギーの同定や解明に繋げるために、国際純粋・応用物理学学会が、現在、強く推し進めている国際リニアコライダー（ILC）計画の施設を例にして、我が国における地下空間利用の計画と課題について論じる。

2. 岩盤地下空洞の開発状況

英語の“building”を意味する建築物とは、建築された物体や構造物を示し、“build”とは、石積み、レンガ、木・木質材料、鉄・鋼、コンクリートおよび膜材料からなる部品や材料をある場所に置くことによって造り出す工作物を意味している。このため、建築基準法では、建築物を“土地に定着する工作物のうち、屋根及び柱若しくは壁を有するもの、・・・地下若しくは高架の工作物内に設ける事務所、店舗、興行場、倉庫その他、これらに類する施設をいい、建築設備を含むものとする”と定義している。そして、屋根は、主に建物の上部を覆って、雨や雪、強風や太陽の強い日差し、気温などの天候の変化および工場の煤煙や大気中の粉塵を防ぐなどの役割を担う構造物であるとしている。このため、地面の上に部材や材料を加えることによって造り出される構造体を建築構造物としており、建築物を設置するための基盤となる地盤を取り去って（掘削して）できる空間、特に、空間の上部に地盤や岩盤が存在することを想定はしていない。つまり、岩盤地下空間は、建築構造物ではないとされてきた。このために、通常の手続きでは、岩盤地下空間を一般の人が活用するオフィスや展示場や倉庫などのような建築施設としての安全確認申請が難しかった。そして、このことが、優れた特性を有する地下空間利用施設が、海外に比べて採用されることが少ない理由の一つとされてきた。こうした中で、後述する高山祭りの森ミュージアム（図-1）が、我が国で唯一、本格的な評定を受けた岩盤空洞となり、ここでの評定資料が、今後の適合審査の基準のベースになるとされている。



図-1 高山祭りの森ミュージアムの展示空間

こうした背景にある岩盤地下空洞を利用した施設を整理すると図-2 のようになる。海外では、交通やエネルギー関連施設だけでなく、シェルターや軍事施設としての活用が図られてきた。このため、早い時期から一般

の人が入場するスポーツ施設, 物流基地, 防災基地, 実験施設や集会場などの建築物としての活用が進められている. これに対して, 我が国では, 多くの地下空間が開発されてきたにも拘わらず, その活用は, 道路, 鉄道, 発電所, 上下水道などのインフラ関連施設に限られてきた. しかし, 近年, 僅かずつではあるが地下河川や貯水槽, 地下備蓄基地などの新しい施設, さらに, 食物貯蔵倉庫や美術館などのような建築物にも活用されるようになってきている. これは, 従来, 先進国に比べて遅れていた社会インフラの充実を目標にしてきた成長社会時代の我が国の政策として, 地下空間が開発されてきたためである. しかし, バブル経済崩壊後に, 急速に進められた社会構造の変革に伴って, 以前必要とされていた構造物は, 量的には急激に減少することになる. 一方で, 多様化, 少量化, さらに, これまでになかったような構造形式や構造機能が求められるようになってきていると考えられる. そして, その構造形式は, 特殊で, 繰り返して施工することが少なく, 関連する情報がほとんど整わない状況で計画が進められることも多くある. このため, こうした”知覚されないニーズ”を如何に掘り起こしていくかが今後の新しい構造形式の採用に関して重要になってきている.

岩盤地下空洞の利用施設		
	海外	国内
過去	交通, エネルギー, 軍事施設 (シェルターとの兼用が多い), 宗教施設*, 住宅	交通 (鉄道, 道路), エネルギー, インフラ (上下水, 電線), 観光*, 宗教施設*, 防空壕, 軍事施設
近年	観光, 倉庫, 貯蔵施設, 地下駐車場, 処理場, スポーツ施設, 音楽ホール, 集会場, 防災基地, 物流基地, 実験/研究施設, 特殊工場, 事務所	実験施設*, 浴場*, 栽培場*, 地下駐車場, 地下河川, 貯蔵施設 (水, 油, LPG等) 下水処理場, 倉庫, 美術館
未来	地上と有機的に結ばれた地下都市 (岩盤空洞を建築空間の一部として認識している国もある)	研究/実験施設, 冷凍倉庫, 防災/情報基地, 地下都市, 原子力発電, 廃棄物処理場, 火葬場, 音楽ホール, スキー場, 物流基地

*は既存の空間の再利用

今後の新しい活用

図-2 地下空間施設の利用状況

3. 海外の地下空間

欧米では, さまざまな地下空間が開発されてきているが, ここでは, シェルターの需要と関連して, 日常生活空間の中うまく利用している地下空間施設を数例紹介する.

1) ストックホルム地下鉄 (Stockholm Mass Transit System, スウェーデン) ²⁾

スウェーデンの首都であるストックホルムの地下鉄は, 1950年に開業し, 現在, 3つの路線 (全長 105.7 km) と 100 の駅を持ち, 年間延べ 3 億人が利用している. この地下鉄を有名にしたのは, 世界一長い美術館と言われているアート空間となっている駅である. 例えば, 写真-1 の Kungsträdgården 駅では, むき出しの岩盤や彫刻などをアレンジして, 地下空間の荘厳さをうまく醸し出している.



図-3 海外における一般の人が活用する地下空間利用施設

2) イタケスクス・スイミングプール (Itakeskus Swimming hall, フィンランド) ³⁾

この施設は, ヘルシンキの中央駅から地下鉄で 3 つ目のイタケスクス駅から歩いて数分の所にある総延べ面積 1,325 m², 緊急時収容人員 3,800 人の地下施設である. 空洞の設計でまず目を惹くのは, 中央の 16 × 26 m の矩形の岩の柱であり, この周りをいろいろなプールが 5 つ配置されている. 間接照明を主体にして

いる室内は、吹付けコンクリート面の起伏がほど良い陰影を作りながらも、中にいる人たちの周り全体が光に包まれているような雰囲気醸し出している。袋小路を感じさせない地下空間の配置、威圧感を与えない天井の高さ（約15m）、空洞の広がりや巧く演出している。

3) ヨービック・オリンピック・マウンテン・ホール(Gjovik Olympic Mountain Hall, ノルウェー)⁴⁾

ノルウェーのオスロ中央駅から列車で北へ2時間、ミエーサ(Mjøsa)湖に面した自然豊かな小さな街Gjovik(人口3万人ほど)に、1994年のリレハンメル(ノルウェー)冬季オリンピックに向けて建設されたアイスアリーナ、オリンピック・マウンテン・ホールがある。自然環境と景観の保全のために、先カンブリア紀の片麻岩体が分布する土被り30m程度の浅い岩盤内に、幅61m、高さ25m、長さ91mの大空間を掘削し、現在、世界最大の人工の岩盤地下空洞となっている。

4. 我が国の地下空間利用

我が国の地下空間は、交通(鉄道や道路など)やエネルギー関連施設を中心に開発が進められ、特に、東京の地面の下は飽和状態に近いとさえ言われている。国際トンネル会議の2000年記念特集号⁵⁾では、20世紀を代表する世界の地下空間として、日本では青函トンネル、東京湾アクアライン、高山祭りの森ミュージアムが紹介されている。

1) 高山祭りの森ミュージアム(岐阜県高山市)¹⁾

日本では、これまでは自然に出来た、もしくは他の目的で造った岩盤空洞を用途変更して一般の人に解放した施設はあったが、不特定多数の人を対象に新設された岩盤地下空洞は少なく、1995年に(財)日本建築センターの評定を取得した本ミュージアムが、日本で最初の本格的な岩盤地下式の建築物となった。この世界的にも珍しい施設が建設された高山市は、京都の祇園祭りや秩父の夜祭りとともに“日本三大美祭り”の一つとして知られている高山祭りでも有名である。この町で、伝統工芸品に関わる現在の飛騨の匠の技と心を後世に伝えるために建造された平成屋台や屏風や大太鼓などを展示し、保存する空間として岩盤地下空間が採用され、土被り30mの岩盤内に直径40.5mのドーム状の展示空間を構築している。



図-6 高山祭りミュージアム(岐阜県, 高山市)

2) 鶴見浄化センター(地下トンネル式下水処理場)(大分県・佐伯市)

鶴見町は、大分県の南東部の町で、2005年に周辺と合併して、現在、人口1000人の佐伯市となった。豊後水道に面して、山裾が海にまでせり出し、平坦な土地がほとんど無い地域でありながら、水産加工が盛んな町であり、水処理施設の建設が切望されていた。このため、幾度となく、建設が検討されながらも、

土地確保の難しさから不可能であるとされてきた。しかし、地域がトンネル方式の処理場の提案を受け入れたため、1997年、高さ13.7m、幅10.5m、延長77mの地下式下水処理場の完成に繋がった。

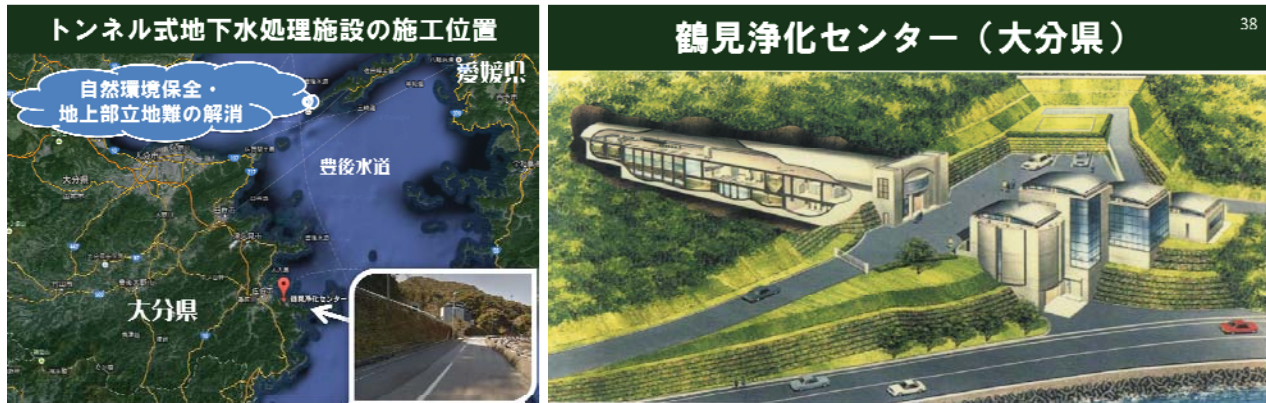


図-5 鶴見浄化センター(大分県, 佐伯市)

5. 今後の岩盤空間を利用した施設

1990年代のバブル経済崩壊後の日本に押し寄せる社会構造の変革の波は、国土のあり方や求められる建設物の要求性能も大きく影響を与えるようになってきている。特に、社会インフラとしての地下空間は、これまで狭い国土の有効利用、ともすれば不足している空間を補うための方策として採用されてきていた。こうしたニーズは、今後も減少するものなくなることはない。しかし、一方で、近年、その特性を積極的に活用し、地下空間を採用しないと実現できないような施設計画が押し進められるようになってきている。例えば、リニア中央新幹線は、超電導磁気浮上式リニアモーターカーの採用により、高設計速度505km/hの高速走行が可能になり、東京-名古屋間を40分、東京-大阪間を最速67分で結ぶ計画であり、前者は2027年、後者は2045年の予定で計画が進められてきている。また、一方で、素粒子物理学の分野では、地上で“宇宙創世時のビックバン”のエネルギー状態を再現しようとする国際研究施設である国際リニアコライダー計画が推進されている。こうした施設は、地下空間の採用なくしては、実現しないものと考えられてきている。特に、後者の施設では、これまで人類が遭遇したこともない現象が再現されることになる。

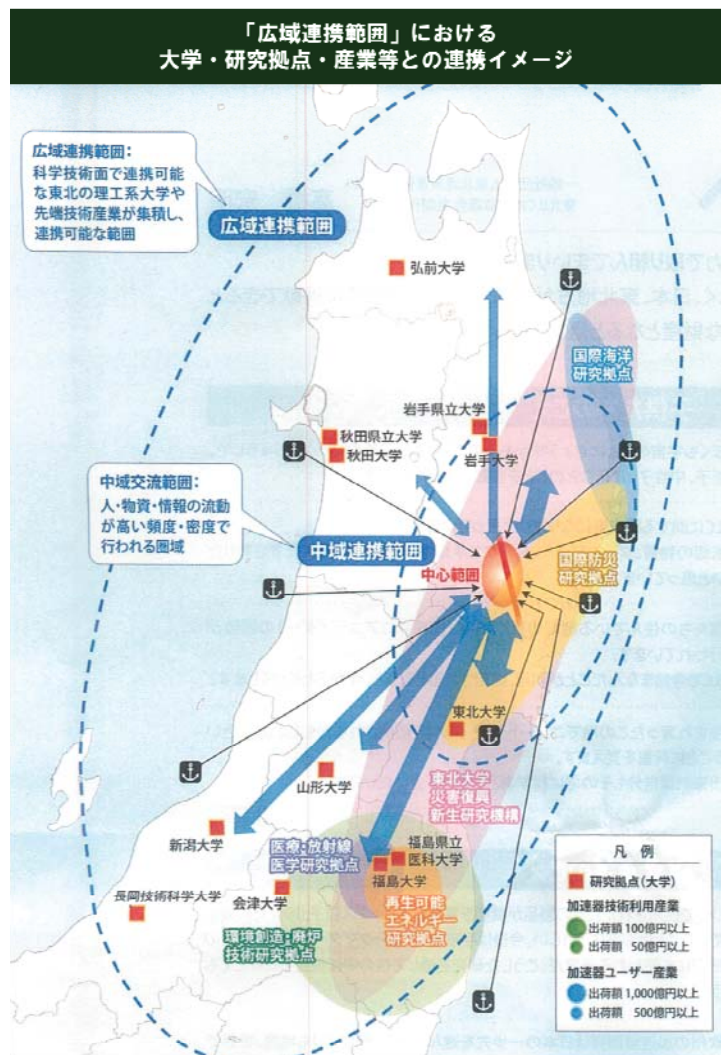


図-6 日本における国際リニアコライダー計画の建設地点⁷⁾

6. 国際リニアコライダー研究施設⁶⁾

2004年、IUPAP(International Union of Pure and Applied Physics)は、世界で一つの電子陽電子衝突型の将来加速器計画として国際リニアコライダー(ILC: International Linear Collider)計画を推進することを決定した。そして、

国際設計チームとして GDE(Global Design Effort)が組織され、100 を越える研究機関や大学が結集して、ILC に関する研究開発や施設の調査研究を実施し、2007 年に概念設計書(RDR : Reference Design Report)を、2012 年末には技術設計書(TDR : Technical Design Report)を取りまとめた。これを機会に、ICFA(International Committee for Future Accelerator)の下部組織として、LCC(Linear Collider Collaboration)が新設され、CERN(欧州原子核研究機構、European Organization for Nuclear Research)が推進するもう一つの直線型加速器構想と ILC の研究グループが協力して、今後の直線型加速器(LC)とその測定器の研究を実施することとなった。そして、永年にわたって各国からの提案や調査結果などを検討した結果、2013 年、LCC は、日本の北上山地内の岩盤空洞が建設地として最も相応しいと判断した。

この研究施設では、生成した電子とその反物質である陽電子は、まず、ダンピングリング内部で運動の向きを整えられる。つぎに、電子と陽電子は、直線加速器トンネルの両端に送られた後に、加速しながら中央部に向かって進んでいく。そして、光速近くまで加速された電子と陽電子は、施設中央部の実験ホール内に設けられた検出器の中で、衝突させられる。このとき、両者は完全に消滅して、宇宙のビッグバンから1兆分の1秒後の世界と同じエネルギー状態となり、その時に宇宙を支配していた基本的な法則や未知の素粒子が現れては消える不思議な世界が再現できることになる。このエネルギー状態を調べることで、宇宙と素粒子の基本的な法則を探ろうとしている。この実験過程の中で、光速レベルにまで加速された電子と陽電子は、衝突確率を高めるために、各ビーム幅をナノオーダーにまで絞り込んだ後に、中央部の検出器内でお互いを衝突させることになる。この加速された電子・陽電子ビームは、周辺環境に影響を受け易く大気圧、気温、潮汐、列車や自動車や工場などの振動などの影響までも極力なくす必要があるため、安定した岩盤内に加速器を設置しなければならないとされている。一方で、この研究施設は、世界中から多くの人材が集まる素粒子物理学研究の中核拠点となり、研究者とその家族だけで約1万人が集う都市を創生する。ここでは、日本の既存社会と世界の宗教・文化・習慣を持つ人が融合し、これまでになかった新しい都市モデルが形成されることになる。さらに、直接的な建設総額 8,300 億円(予定)に加えて、先端科学技術の集積地域として高度な産業人材を育成するだけでなく、建設 10 年、運用 20 年の間に、25 万人の雇用を創出し、4.3 兆円の生産誘発額があると試算されている。

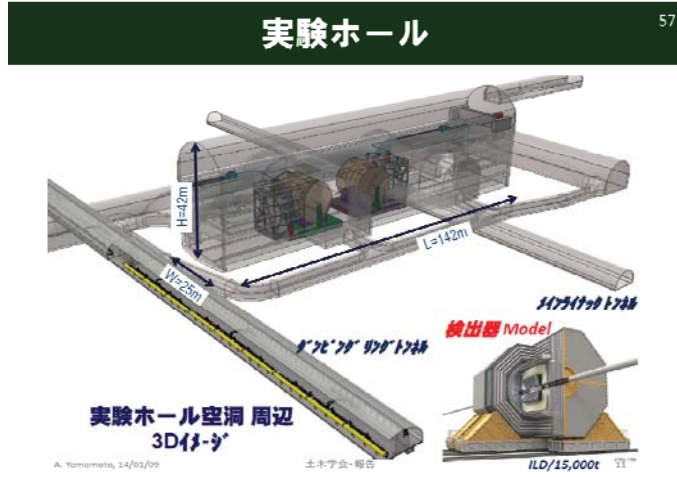
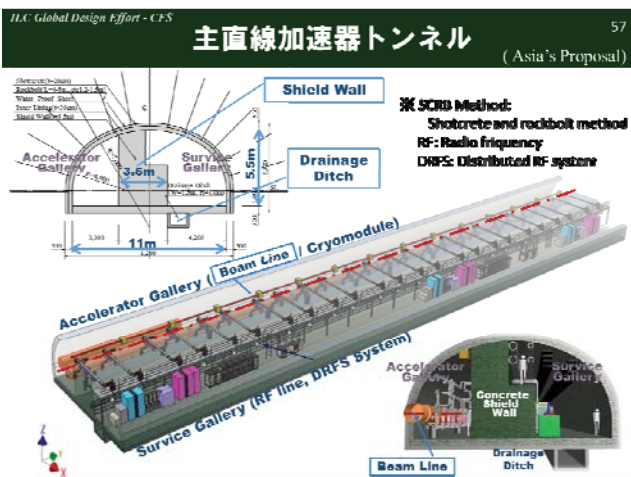
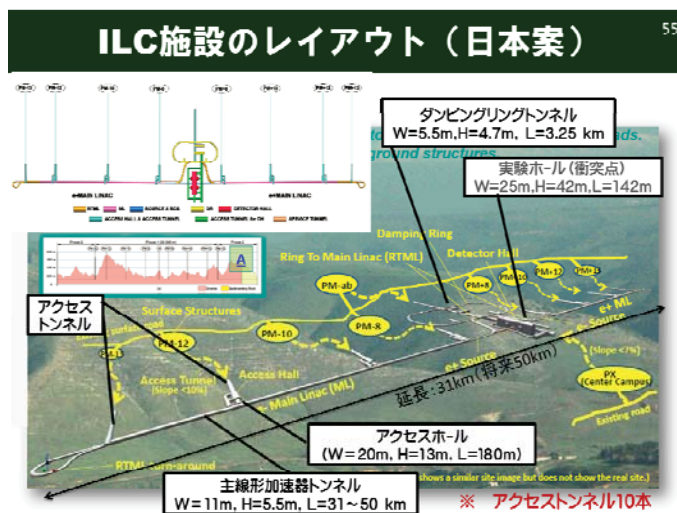


図-7 日本における国際リニアコライダー計画の地下構造物の概要

7. おわりに

わが国の岩盤地下空洞の調査・設計・構築技術は、世界的なレベルにあり、身近にある技術を転用するだけでも、新しい施設計画に大きな可能性が開けてくるものと思われる。また、岩盤地下空洞の活用は、環境保全にも役立ち、周辺環境へのインパクトも少ない。このため、これまで、従来技術だけでは実現できない施設計画も、もう一度、岩盤地下空洞の活用も入れて、発想の転換を図ると、意外な結果に繋がる可能性がある。

ここでは不特定多数の人が入る建築空間を中心に説明したが、図-8に示した岩盤地下空洞の特性をいろいろ勘案してみるとまだまだ新しい活用が可能となる。

閉鎖性、機密性、遮蔽性……地上に建設して周辺から迷惑がられる騒音の著しい施設、下水処理施設、清掃工場など

耐震性……地震災害に対して強くする必要があるような重要構造物

遮音性……騒音の著しい工場など

音響効果, 神秘性……音楽ホール, 劇場, 展示館など

遮温性……冷凍倉庫, 常温倉庫, 精密工場など

低震性……精密機械組立工場

身近な構造物に岩盤地下空洞が利用できると考えると、事業計画を立案する上で欠点と思っていたことが長所となり、長所と思っていたことが短所になる。この意味からも地下空間利用は、さまざまな事業計画を立案する上で興味深い結果を与えてくれるものと思われる。



図-8 地下空間施設の特性

参考文献

- 1) K.Nakada, H.Chikahisa, K.Kobayashi and S.Sakurai, Plan and Survey of an Underground Art Museum in Japan, Using a Large-Scale Rock Cavern, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol4-11, pp.16-23, 1996
- 2) The World's Longest Art Gallery: Art in the Stockholm Metro, <http://twistedstifter.com/2012/05/stockholm-metro-worlds-longest-art-gallery/>
- 3) Itakeskus Swimming hall, <http://www.visithelsinki.fi/en/activities-in-helsinki/itakeskus-swimming-hall>
- 4) 「大規模地下空洞」連載小委員会,岩盤地下空洞のあらたな活用,北政における不特定多数が活用する岩盤地下空洞,トンネルと地下,Vol.30-1,pp.73-82,1999
- 5) Tokyo Wan Aqua-Line,Seikan Tunnel & Takayama Festival Art Museum, Tunnelling Technologies for the 3rd Millennium, The International Tunneling and Underground Space Association, pp.120-126, 2000
- 6) CHIKAHISA,H., ENOMOTO,A., MIYAHARA,M. and MASHIMO,H.: CURRENT PLAN OF UNDERGROUND OPENINGS FOR INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER IN ASIA AND THE DEVELOPMENT OF ITS GUIDELINES, the 13th World Conference of the Associated research Centres for the Urban Underground Space (ACUUS), Singapore, pp.1375-1385, 2012.
- 7) 東北経済連合会, 国際リニアコライダーが日本を変える (パンフレット)