

地下利用の分類

Classification of Subsurface Use

佐藤 邦明 (さとう くにあき)
埼玉大学助教授 工学部地盤・水理実験施設

足立 克巳 (あだち かつみ)
(株)大林組 土木技術本部本部長付

1. はじめに

我が国では、1980年代半ばから行政機関、産業界、学協会を中心にして、空間利用を軸にした『地下開発』が声高く語られてきた。その内容は、当面する社会問題の一つである空間不足の補充のために、関係者が得意とする分野の施設建設に関連づけて語られる傾向が強かった。その事は一方で、総合的な土地利用との関連性をあいまいにし、『地下利用』の方向性と全体像を分かりにくくしている。それゆえ、現状を踏まえて、『地下利用』の概念を明確にするとともに、社会的な必要性と地下特性の利用との関係を理解する必要がある。その上で、未利用の地下特性を用いた、新規用途開発の可能性を論理的に探索する手法の確立が望ましいものと考ええる。

本論はこうした視点を基軸に、歴史的に発展した地下利用と現在利用している地下特性を整理しようとした。それは、地下利用技術の体系化を促し、技術の枠組の再構築に不可欠と考えたからである。

2. 地下の概念と地下利用の概況

2.1 地下とそのイメージ

(1) 深層心理的イメージ

『地下』という言葉から受ける素朴なイメージを、両親から幼時に聞かされる物語に探ってみる。

欧米の人々には、Booth (ブース)¹⁾ の絵本に見られる地下のイメージが一例かと思う。そこには、鳥や地上動物や爬虫類の巣、生活をする昆虫や線虫類やバクテリア、地上に美しく咲いている草花や勢いよく枝葉を広げている樹木の根などがある。生活に結びついた建物の基礎、雨水・汚水を流す管などや地下鉄道や地下街もある。埋もれている宝石、太古の住居や洞窟探検も描かれている。人によっては、ギ

リシャ・ローマ神話での冥府の神ハーデス(Hades)²⁾ が支配する領域と意識することもある。古代エジプト、アメリカ・インディアン、メキシコやパラオ諸島では太陽の通路として地下が意識されたり、怪物の住む所や農耕での豊穡の基盤とする民話の存在も創作的に紹介³⁾ されている。

我が国の民話にも、実存の空間とそれに並行して存在する仮想空間としての地下がある。伊邪那岐・伊邪那美神話⁴⁾ やアイヌ伝説⁵⁾ では畏怖や畏敬を与える黄泉の国と、各地の昔話の鼠浄土⁶⁾ で語られる楽しい鼠が住む穴がそれである。

現代日本人の地下意識には、昨今、宮田⁷⁾、小田⁸⁾、室ほか¹⁰⁾等のアンケート意識調査、谷口・土肥¹¹⁾の日本文学での描写分析と原田⁹⁾の心理分析は、「好・悪」、「快・不快」等の明暗両面のイメージを民話や文学の表現に見出している。Su (スー)¹²⁾も中国での研究から同様な例とその発展性を紹介している。

習俗・風土・気候・地形などの人文・自然環境は、成長過程で深層心理に刷り込まれる。分類内容への深層心理の影響を避けるには、地下利用の概念を深く認識し、さらに、「明」の面だけでなく、利用者の心理的負担を生む「暗」の面を配慮した使用環境とする必要があることを示唆している。

(2) 現実的イメージと実際

『“なじんでいる”ことが“よくわかっている”ことではない』といった有名な哲学者¹³⁾がいる。確かに筆者らを含め多くの人が地下街で買物をしたり、地下鉄道を利用して、日常地下と地下空間に良くなじんではいるが、それらについてよく分かっているとは言い難い。そこで上述した漠然ともっている『地下とその空間』についてのイメージと実際を概略確認してみることとする。

『地下空間』は物理的なイメージの『地下の囲ま

れた広がり、ある場所、いれもの等』として認識されたり、技術の立場から到達可能で有益な『社会的空間』とも見なされる。また、地上と地下の空間との特性の違い、加えて都市という人工空間との調和の中における地下の役割をイメージに同化するコンセプトが失われたことがあった。

地質・地形・風土のような自然環境と風俗・土地利用のような社会環境は、立地点ごとに異なった影響を地下利用に与える。所定の地下を建設するには、地形、地下水、地盤特性等を含む多様な立地条件に応じた建設方式と技術が必要である。さらに、地下の復元性の低さと既存の土地利用が新規用途や建設に、また、地質と建設技術の制約が空間の幾何学的形状に大きな影響を与える。

地下利用の一つには、多層的な階層状空間や三次元的な容積確保をねらった空間の利用がある。その二には、鉱物・石材・石油・水等の地盤内にある物

質とその物理化学的性質・環境利用がある。

本稿の以下の議論では、『地下利用』を『地下空間自体および空間に存在する物質とその物理化学的性状・環境の利用』の意味を持つ術語として用いる。

2.2 地下利用の発展

先史時代最古の地下建造物は、盛土方式ではB.C. 4000年以前のフランスにある墳墓¹⁴⁾、掘削方式ではB.C. 3300年頃の地中海マルタ島の地下神殿¹⁵⁾のようである。歴史時代では、B.C. 2010年頃のバビロンの河底通路¹⁶⁾があり、中国、トルコ、スペイン等では地下住居^{17)~19)}が今なお使用されている。

様々な地下利用カテゴリーの発展を、それを支える地下特性と科学・技術を基盤にして歴史的に成長する樹木に横して図-1に示す。人類の止むことの無い欲求を太陽に例えて、空間・地盤・環境や物理化学的性質という養分を、自然科学・社会科学と応用技術という根によって吸い上げ、新しい機能をもった利用法という枝を伸ばし、地下利用という全体の樹木を成長させてきたと見ることができる。

昨今では、生態系との調和、用途間の調整が求められ、心理的負担を生む閉鎖性の軽減、経済性の確保という強風(制約条件)にも以前にま

して耐えていく必要性が高くなってきた。人類の欲望や社会基盤施設の改善というニーズは社会の事実認識により内容と程度は異なるが、地下利用は今後とも発展するものと予想される。

以下に、樹木図の概略を発展の順序に従って説明してみよう。住居に始まり今日に至る基本的な地下利用の様式は、中世までにほとんど出尽くしている。十字軍の遠征によって火薬を知ったヨーロッパ人は掘削技術を発展させ、18世紀の産業革命を支える原動力となった石炭の採掘を容易にした。その利用は種々の発明・発見を促し、地下利用を一層進歩させた。原子力の実用化と普及は人類のエネルギー問題を緩和したが、その安全利用や事故時の懸念が一部の社会施設を地下立地へと向かわせた。

現代の地下利用の特徴には、単なる空間利用だけでなく方向から、ほかの地下特性をも意識的に活用するような方向が見られる。古くから軍事施設や住居に用いられている覆土式構造物^{17), 20)}は、今日新たに建築家を中心にして、

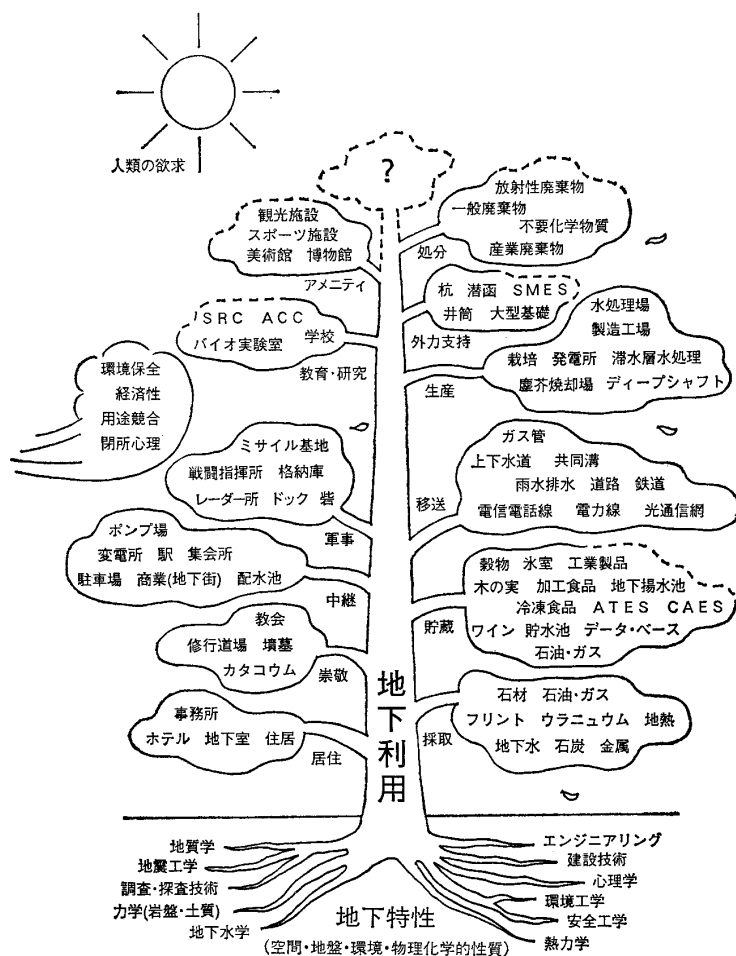


図-1 地下利用発展樹木図

SRC : (Synchrotron Radiation Counter : シンクロトロン放射光測定装置), ACC (Accelerator [素粒子] 加速機), SMES (本文3.4参照), CAES (Compressed Air Energy Storage : 圧縮空気エネルギー貯蔵), ATES (Aquifer Thermal Energy Storage : 帯水層熱エネルギー貯蔵)

環境保全や省エネルギーの観点から住居^{21), 22)}のみならず種々の用途に積極的に活用されつつある。目新しい使用例として、体育館(仏)や学校(米)²¹⁾がみられる。都市への人口集中に起因する混雑緩和から、市街地では業務空間・駐車場や社会基盤施設等の地下化の要求も依然強く、また、歴史的景観保護やイベント志向にこたえる地下街^{23), 24)}や、自然景観保全の地下発電所もある。視覚印象の改良や都市の高度化開発を含めて、地下の下水処理建設が我が国でも1965年²⁵⁾頃には始まっている。そのほかにも、完全な三次元地下空間を含んだ地下特性の意欲的な利用^{26), 27)}も近年多くなった。

2.3 我が国における特徴的な地下利用の方向

我が国では沖積平野か盆地にひらけた都市が多いが、諸外国では岩盤上に位置していることが多い。自然と歴史の違いから地下利用の形態が外国と異なっても不思議はない。古代から、洞窟、山岳トンネルや地下室等がみられる。明治以降の外国技術の導入は、陸上交通・水力発電・都市基盤施設・貯槽を含む軍事施設、市街区・駐車場等を地下に発達させた。本格的なスポーツ施設、コンサートホールや核シェルター等は、我が国ではまだ見掛けない。

大都市問題の根本的な解決には、極端な集中人口の分散が必要であるが、即効的な具体策は無い。そのため、実際に山積する諸問題に対処する行政と関係者は、不足する地表空間を階層的地下空間に問題解決の活路を見出そうとしている。①新しい都市を地下に求めるという発想から、不特定多数の目的に適合する大空間とその建設に必要な技術課題を論じている。また、②社会基盤の交通・運搬、給排水等も地下に建設し増強するという考えもある。既存市街地の土地利用の現状を踏まえて、都市機能施設別に大深度での建設技術や法制や、地下利用に必要なソフト開発を検討課題としている。

一方、パリ、モントリオールやトロントでなされているように混雑緩和に加えて歴史的な、あるいは美しい自然景観との調和を図ることも地下利用の一つの推進理由となる。また、階層的利用から、完全な三次元的、あるいは、地下環境や地盤特性の積極的利用の方向も強くなると考えられる。

3. 分類—研究・開発の側面から—

3.1 分類の視点と必要性

自然科学と異なり社会経済が根底で絡み合う工学では、分類の視点や論点の取り方が多数存在する。その『視点』の例に、次の属性が考えられる。

- | | |
|-------------------|------------|
| ① 施設機能 | ② 形状, 構造 |
| ③ 地下特性 | ④ 用途(利用目的) |
| ⑤ 地質と建設材料 | ⑥ 自然や風土の条件 |
| ⑦ 社会条件(土地利用, 法制等) | |

この中で比較的利用度の高い視点は機能である。しかし、機能のみに頼って区分すると、分類の利用者の具体的でかつ日常的な知覚から遊離する。例えば、建設関係者は利用目的により形状や構造を設計するわけで、機能は当然備えるべきものであり、自然条件や建設材料だけでなく立地点の土地利用や法制等の条件も同時に考え、地下利用には本来、歴史、自然条件、風土や文化等の多数の要因も重ね合わせるべきである。それらの影響を受ける分類者の立場が分類内容に大きく反映する。次に示す『立場』や考慮すべき観点が存在し、分類に影響する。

- ① 行政管理：人命・財産・国土保全・自然環境維持等の保護・規制
- ② 事業運営：事業計画・施設管理(経済・性能)、政策実施・調整
- ③ 施設建設：調査・設計・建設
- ④ 研究・開発：地下特性把握と応用技術
- ⑤ その他：文化、心理

3.2 既往の分類例とその視点

地下利用の新規分類を提案する前に、ENAA(Engineering Advancement Association)、足立・林ほか^{29)~38)}の我が国での分類例と幾つかの海外例^{26), 27), 39), 40)}での視点や立場をまず確認する。

地下利用に意欲的な事業関係者は、施設紹介と事業での位置付けや、施設の利点を中心に分類している。特定の経験が支配する用途・機能項目を選定し、開発目的や立場は関係者の間で自明であるとして明示されないことが多い。課題抽出・整理も意図しているが、肝心の分類根拠はまれにしか示されない^{39), 40)}。

研究者や提案者も、分類の立場と視点を明示していることはまれである。抽出された分類項目の性格にも一貫性が乏しく、項目が独立していないこともある。例えば、産業分類である「電力」と施設要素

資料-487

の「発電所」、産業分類の「商業」とその下位の「ホテル」、施設要素の「住居」と機能用語の「物流」等のように、属性や分級の異なる用語が一つの分類中に並存していることがある。それは、快適・利便性・安全性等が時代とともに変遷し、江藤^{3D)}が述べる現代の多くの施設での複数目的や新しい機能を付加し複雑化があるからでもある。このことは、現状施設の分類を表面的な一次元化の困難さと、単純な単一機能での利用区分の困難さを示している。

また、分類の視点や根拠が明示されていないためか現象論的な分類が多い。したがって、分類構成思想の統一性が崩れて利用が困難となる。

3.3 分類の一提案

社会活動は多様な視点に基づく尺度から評価されるので、通常多次元の分類が必要となる。理解の容易な分類には、目的に添うカテゴリー（属性）はせいぜい1～3個にし、個別に独立である要素を選択することになる。

筆者らは、地下空間の研究・開発時における技術検討課題の整理と、将来の開発の方向性を明らかにするための分類を意図した。

そこで、地下施設の分類基準に、建設誘因となる心理的要求（当初欲求）を満足させる『基本機能』を選択する。多数の機能を持つ各施設が単一の分類項目に属するために、当該の『基本機能』以外は二次的な機能として分類対象から除外する。この方法により施設ごとに一つの機能が対応して、この基準による重複の無い分類が可能となる。

分類項目とした基本機能に、居住、採取、崇敬、貯蔵、移送、中継、防衛、生産、外力支持、教育研究、アメニティーと処分を抽出した。それらは、地下施設に求めた原初の基本機能を想定した出現の順に従って並べた。また、地下施設の特徴を理解するために、経時変化が少ない地盤の状態や自然環境、また、地盤の物理化学的性質を地下特性として選定し、利用している特性を分析する。そこで、基本機能を縦軸に、地下特性を横軸にとり、図-2に『人間活動と地下利用』の分類を示した。施設例にある・印は、現在利用している特性である。

さらに、地下施設の立地環境を示す社会要求や自然状態は地域性が特に強く影響する。この中に、我が国の風土や歴史的観点が、暗に組み込まれた形で

理解できる。例えば、我が国では地下水や多湿のため、今日地下住居はない。また教育施設も定着していない。アメニティー施設にしても人が長期間地下に滞在することはどうも受け入れられないようである。他方で貯蔵とか輸送の地下空間・利用は広く普及している。いずれも非居住性施設である。自然条件、風土、歴史が地下利用にいかにかかわってきたか知ることができよう。

3.4 分類の利用方法

分類利用者の立場に応じて、呈示した地下特性をさらに細分化する方が扱いやすいこともある。特性区分で説明すると、光線（電磁波）遮蔽の一部から社会的表現の視線遮断（景観保全のため）なる項を分離し、従来項は純粹に物理的特性のみとしたような例である。施設計画時には、・印のある特性の技術検討が必要である。そのほかの特性は、使用条件の変更に応じて影響度を再確認したり、それを利用した新規施設の可能性の検討に用いる。

次に、定義した地下の概念に基づいて提案した分類の利用例を述べてみよう。

㉑ 新規利用基本機能

図-2に示す基本機能の出現順序と現代社会の問題を2.1の地下のイメージに述べた明暗両面から展望すると、「医療」、「防災」や「再資源化」を新規に利用する基本機能の候補にできよう。

㉒ 技術課題（SMES+地下水）

SMES（Superconducting Electric-Magnetic Energy Storage）を収納する地下空洞へ、強大な磁場を横切って地下水は移動するので、誘導電流が発生する。これは貯蔵エネルギーの損失とロックボルト等の金属構造材の腐食の原因となる。これらの程度を把握することは工学的な課題である。

㉓ 新規利用施設

地盤の電磁波遮蔽性は、地下空間の電波暗室としての利用を可能にする。また、地下貯槽での地下水による気密性保持方法、熱水貯蔵での岩盤の断熱性、さらに地盤鉱物の生物学的安定性が知られている。それらを複合して利用すると、嚴重な密閉性と温度の安定性が求められる遺伝子工学等の生物学実験室への利用が期待できる。

㉔ 施設の機能別に地下特性を確認

既存施設が持つ複数の機能に関連する地下特性は、

分類			地下特性								環境	
			地盤と環境			地盤の特性					社会要求	自然条件
基本機能 activities	当初欲求 demands	対象例	空間	地盤	環境	三次元性	遮蔽	物性	安定	大 ← → 小 5 4 3 2 1	不良 ← → 良 1 2 3 4 5	
			空洞	物状 質態	地微重 下生 水物力	物振電視 磁線 質動波*)	強熱熱静 容伝電 度量導容	化生 学物				
居住	避ける	住居	●	●	●	●	●	●	●			
貯蔵	蓄える	穀物、薯室、ワイン 加工食品 氷室、冷凍食品 貯水池・地下揚水池 水封式（流体） 熱水 ガス・空気	●	●	●	●	●	●	●			
採取	採る	地熱 鉱物、石材、化石燃料 地下水	●	●	●	●	●	●	●			
崇敬 （瞑想）	敬う	墳墓 寺院、修行場	●	●	●	●	●	●	●			
移送 （輸送）	結ぶ	上下水道、排水溝、共同溝 通信、電力 道路、鉄道 ガス	●	●	●	●	●	●	●			
中継 （基地）	集まる	集会所、行政 商業（地下街）、駐車場 配水池 変電所	●	●	●	●	●	●	●			
防衛	防ぐ （外敵）	防衛施設 攻撃施設	●	●	●	●	●	●	●			
生産	作る	栽培 製造工場、発電所 水処理、清掃工場 ディープ・シャフト 滞水層利用水処理	●	●	●	●	●	●	●			
外力支持	支える	構造物基礎 S M E S	●	●	●	●	●	●	●			
教育研究	学ぶ 究める	学校 S R C・加速器 無重力 生物・科学実験室 地盤・地質・地殻・施工	●	●	●	●	●	●	●			
アメニティ	楽しむ	博物・美術館、スポーツ、 観光	●	●	●	●	●	●	●			
処分	捨てる	固形廃棄物 液状廃棄物	●	●	●	●	●	●	●			

註) 原始動作：機能の当初目的動作、三次元性：特に位置的に地下を意識した用途、電磁波：光線・γ線を含む、都市部で特に多層利用を意識したもの、物質：地盤の構成物質から中性子まで含む *）視線遮蔽⇒景観保護

図-2 人間活動と地下利用

その機能に該当する基本機能の項目にある類似施設例の特性を参照することで、容易に識別することができる。また、既知の機能を新規のそれと組み合わせることで、既利用の枠組の再構築を容易にする。例えば、地下空洞に SMES 収納と同時に、ヘリウムガス貯蔵の目的を持たせることもできる。

㊦ 検討項目の確認

各施設で確認された利用する地下特性は、計画・運用の際の検討項目であり、慣れによる錯誤を減少できる。つまり、分類表の使用から、次のことが容易となる効果が生まれる。

- ① 新規基本機能の発見
- ② 新規施設の発見

- ③ 技術課題の整理
- ④ 既利用の枠組の再構築
- ⑤ 計画時の検討項目の確認

以上、地下空間・利用について、原点に立ち科学的かつ人文的視点を踏まえて議論を構築した。いつの時代でも先の事を考える際には、絶えず原点に立ち帰って物を考える事が大切であることを強調したい。

4. おわりに

近年、我が国では地下利用の目覚ましい進歩をみようとしている。そういった中で、地下空間にかかわる多くの論文、報告書、出版等が世に出るようになり、パラダイム・シフト（枠組の移行）が進行中である。一方では技術体系の再構築および分類の適正化がコンセプトの確立とともに望まれている。

論点の明確を期すため

に、本報は一貫して『地下空間』を『地表面下にある空間』として、『地下利用』を『地下空間自体および空間に存在する物質とその物理化学的性状・環境の利用』という観点から定義した（2.1 参照）。

また、地下には心理的に「暗」のイメージもあるので、利用に際して配慮が必要なことも述べた。

都市への人口集中に起因する混雑緩和や歴史的・自然的な景観との調和等の消極的利用に加えて、技術の進歩に呼応して地下特性を積極的に利用する方向が出現している。

このような背景の下で、研究・開発の側面からの地下利用の分類を提案したが、それにより以下のよ

うな効果が期待できる。

- ① 人類の当初欲求を満たす施設の基本機能に注目して、それが発展したと思われる順に選択し施設を分類した。時代とともに付加されてきた機能が弾力的に技術の枠組の中に吸収されてきたことが分かる。
- ② 新規の基本機能や施設の発見、さらに技術課題の整理等が将来の進歩をもたらす。

引用・参考文献

- 1) Booth, E.: Under the Ground, Raintree, 1977.
- 2) プルフィンチ(野上訳): ギリシャ・ローマ神話, 岩波文庫, pp. 83/246, 1991.
- 3) 大林太良: 地下の神話・洞窟の儀礼, 季刊大林, No. 9-地下, (株)大林組, pp. 11~14, 1981.
- 4) 古事記, 岩波文庫, pp. 26~28, 1992.
- 5) 更科源蔵: アイヌ伝説集, みやま書房, pp. 263~264, 1984.
- 6) 水沢謙一: 新潟県の昔話集, 野島出版, pp. 106~109, 1982.
- 7) 宮田紀元: 地下空間イメージに関する基礎的調査, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 185~190, 1989.
- 8) 小田義彦: 閉鎖的空間における人間の心理的特性について, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 191~194, 1989.
- 9) 原田和彦: 都市の地下開発と人間, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 195~200, 1989.
- 10) 室 恵子ほか: 地下空間利用における心理的問題, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 201~206, 1989.
- 11) 谷口・土肥: 人間の心理的・生理的特性から見た地下空間活用のあり方に関する研究, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 207~212, 1989.
- 12) Su, Yu: 地下空間における人体の生理的反応と将来の展望, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 213~216, 1989.
- 13) フィッシャー: ヘーゲルの精神現象学, 勁草書房, p. 99, 1991.
- 14) 日本テレビ: 巨石文明の謎, p. 26, 1983.
- 15) The Hypogeum—A Jewel of Ancient Malta, M.J. Publ., p. 36.
- 16) 大日本百科全書14, 小学館, p. 168, 1988.
- 17) Erguvanli, A.K. & Yüzur, A.E.: Past and Present Use of Underground Openings Excavated in Volcanic Tuffs at Cappodocia Area in the Storage in Excavated Rock Caverns (ed. Bergman, M.), pp. 31~36, Pergamon, 1977.
- 18) 川島寅次: 世界の民家・住いの創造, 相模書房, pp. 10~11, 1990.
- 19) 川島宙次: 絵で見るヨーロッパの民家, 相模書房, pp. 158~160, 1987.
- 20) 土木学会: 日本土木史/大正元年~昭和15年, 技報堂, pp. 739~753, 1965.
- 21) Sterling, R.L.: Earth Sheltered Buildings Construction Activity and Research in the U.S. in the Subsurface Space (ed. Bergman, M.), pp. 739~745, Pergamon, 1980.
- 22) Hyden, H. & Winqvist, T.: The Energy Consumption of an Earth-Sheltered Dwellings in Scandinavia in the Subsurface Space (ed. Bergman, M.), pp. 639~646, Pergamon, 1980.
- 23) Michel, C.: Les Halles—La Renaissance d'un Quartier, Paris, 1988.
- 24) アーバンスペシャルティ<さんちか案内>, santicaパンフレット.
- 25) 名古屋市名城処理場—公共下水道統計: 下水道協会.
- 26) Finnish Tunneling Assoc.: Rock Engineering in Finland, Gummerus Oy, 目次, 1988.
- 27) Winqvist, T. & Mellgren, K.-E.: Going Underground, Royal Swedish Academy of Engineering Science, 目次, 1988.
- 28) 昭和56年度研究開発委員会: 研究部会報告書 (ENAA 1981 プ0), (財)エンジニアリング振興協会, pp. 321~322, 1982.
- 29) 足立克巳: 超電導エネルギー貯蔵と土木とエンジニアリング, エンジニアリングシンポジウム'84 発表配布資料, 1984.
- 30) 林 正夫: 地下構造物, 土木工学ハンドブック, 土木学会, p. 1201, 1989.
- 31) 江藤剛治: 地下空間の複合利用について, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 71~76, 1989.
- 32) 地下空間利用技術に関するテクノロジーアセスメント委員会: 地下空間利用技術に関するテクノロジーアセスメント, 日本産業振興会・エンジニアリング振興協会, p. 7, 25, 70, 1988.
- 33) 建設省都市計画課: 都市地下空間の計画的利用, 都市地下空間活用研究, No. 1, pp. 23~25, 1983.
- 34) 藤田圭一: 国土の地下利用と建設技術, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 61~70, 1988.
- 35) 地下空間利用研究会: 建設省総合開発プロジェクト「地下空間の利用技術の開発—研究のアウトラインについて」, 国土開発技術センター, p. 8, 12, 1989.
- 36) 地下空間利用技術に関する研究小委員会: 21世紀の新しい地下空間利用に向けて, 土木学会論文集, Vol. 403/IV-10, pp. 25~35, 1989.
- 37) 地下空間利用の時代, 公共投資ジャーナル社, pp. 41~42, 1989.
- 38) 杉浦 匠ほか: 地下空間に求められる環境, 地下空間利用に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 229~233, 1989.
- 39) Underground Construction Reaserch Council of ASCE in cooperation with AIME: The Use of Underground Space to Achieve National Goals, p. 9, 1972.
- 40) Jansson, B. & Winqvist, T.: Planning of Subsurface Use, Swedish Council for Building Research, pp. 98~99, 1977.

(原稿受理 1992.10.21)