

地下空間の利用効果とその評価について ON THE BENEFIT OF UTILIZATION OF UNDERGROUND SPACE AND ITS EVALUATION

千葉俊彦*・森 隆広**・関口佳司***・芳賀幸雄****
Toshihiko CHIBA, Takahiro MORI, Keiji SEKIGUCHI and Yukio HAGA

Benefit induced by utilization of underground space for providing infrastructures would be different from those in the case of surface space utilization. These benefit result not only from infrastructures provided but also from effects on surface environment. These benefits and environmental effects should be reasonable evaluated, however, there is no appropriate indices, nor effective methods to estimate them. In this work, the benefit and the effects of the underground utilization for infrastructures were studied with respect to various viewpoints.

「Keywords」: benefit of underground space

1. はじめに

地下空間の利用価値は、地下が恒温性、遮蔽性などの物理的特性を有する空間であること、また、それが都市部を含めた地表の活動空間からわずかの垂直距離を隔てた位置にある半無限空間であり、その有効利用によって多層的な都市空間を構成することが可能となることに由来する。その利用価値は、地下を利用可能ならしめる工学・技術のレベルおよびそれを受け入れる社会的システムのあり方に応じて決まる潜在的な価値である。

しかしながら、我々の共通認識として「地下空間」は「地上における不都合な事柄を回避するための空間」という消極的な定義しか与えられておらず、地下空間利用の積極的な意味およびその価値は明確に把握されてはいない。近年の地下空間利用に対する関心の高まりは、地表空間の過密や高地価を背景として、地下空間利用のコストが相対的に低くなってきたことが直接的な要因であるといわれているが、そうしたコスト面の比較だけでは、地下空間がもつ潜在的価値を十分に評価しているとはいえない。遮蔽空間であるという「地下空間固有の特性」を積極的に利用するとどのような効用があるのか、また、「地上における不都合な事柄を回避するため」に地下空間を利用したとして、それがどのような効用を生じるのか、といった地下利用に対する積極的意味付け・評価がなされなければ、都市空間の三次元的構成の理念の確立、その実現方法およびそれを受け入れるための合理的な法制度のあり方などへ議論は昇華するべくもないであろう。

地下空間を利用した社会資本の整備は都市空間の多層的利用であり、地表部における既存の空間構成に大きな影響を及ぼすことなく都市に必要な機能の実現を可能にする。したがって、そこに構築されたインフラ施設が生む効用のみならず、既存の地表利用を大きく改変しないということから派生する効用およびそれらの相乗効果が期待できる。しかし、一方で建設コストが地表に比べて高いことは周知の事実であり、運用、

「キーワード」 地下空間の評価、価値

* 正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ 交通運輸部
*** 正会員 西武建設(株) 技術部

** 正会員 北海道開発コンサルタント(株) 東京支店技術部
**** 正会員 南海カツマ(株) 津支店

維持管理，防災などのコスト増といったマイナス面も併せて考慮する必要がある．今後の有効な地下空間利用を考えていく上では，これらの正負の効果が総合的にかつ定量的に検討される必要があるが，現状においては，こうした地下空間の利用価値に対する考え方は確立しておらず，評価手法の確立が急務となっている．

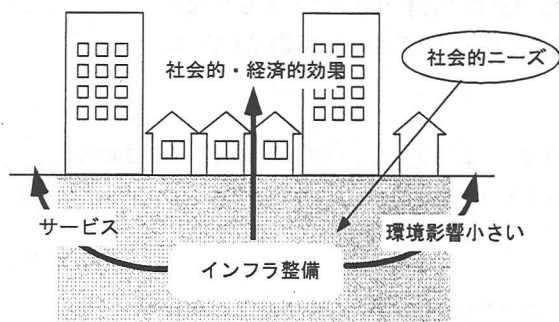


図-1 地下空間利用の効果

こうした現状に対する問題認識を背景として，土木学会地下空間研究委員会・計画小委員会の中に地下空間の利用価値と評価項目の明確化およびその評価方法についての研究を行うための一つのワーキンググループが結成され（京谷(東北大)，千葉，森，関口，芳賀），平成8年度から2年余りの活動を行ってきた．本報告はその活動成果のまとめである．「地下空間の利用価値」というような目に見えない社会的効用あるいは損失などの評価の問題は，多方面において対象を変えて議論されている極めて難しい問題であり，簡単に結論がつくような類のものではない．本報告もこの問題について

何らかの明らかな結論を得たというような輝かしいものではなく，地下空間に対してのこの方面の研究の第一歩にすぎない．しかし，こうした活動をひとつの手がかりとして，地下の利用価値と評価方法についての議論が活発に行われるようになれば，小委員会の活動目的の大部分は達成されるものと信じてここにその内容を報告するものである．

2. 既往研究からの評価に関する分析

地下・地上を問わず，事業計画における評価の目的は，(1)事業の必要性を判定する，(2)事業における空間利用の適性を判定する，(3)事業による影響度を判定するなどが考えられ，評価時期によって，1)実施前，2)実施中，3)実施後の三段階が挙げられる．したがって，開発事業に当たっては目的に応じた適切な時期に評価を行うことが重要であり，実際さまざまな評価が実施されている．

そこで，既往学術研究における事業および計画に関する評価文献を調査した結果，以下の四項目を中心に発表されていることがわかった．なお，評価文献調査は，土木学会[1947～1997]，日本都市計画学会[1966～1997]，日本建築学会[1959～1997]，地盤工学会(土質工学会)[1966～1997]の学術会発表より行った．

a) 社会性に関する評価

社会性に関する評価は，主に事業の必要性和影響度を評価するものである．すなわち，鉄道・道路・河川・海岸・再開発・公園・住宅地など社会資本整備事業の必要性和事業によって得られる利便性，住民の生活水準の向上，事業影響区域の発展など，事業による効果項目に関して定性あるいは定量的に評価するものである．例えば「環境負荷および周辺空間への影響を考慮した交通社会資本整備における地下空間利用価値の定量的評価」¹⁾，「地下鉄開業時の事前・事後分析－意向データの有効性の検証－」²⁾などの研究が挙げられる．

b) 経済性に関する評価

経済性に関する評価は，主に事業の必要性に対応して経済効果の度合いを評価するもので，事業を実施するか否かの判定に用いられることが多い．主に定量的評価が中心で実施に必要な事業費あるいは実施後の便益度を評価するものであり，事業実施時期の社会経済情勢に大きく影響されるものと考えられる．例えば「地下空間を河川として利用した場合の経済比較」³⁾，「鉱山施設を利用した地下揚水発電とその経済性評価」⁴⁾などの研究が挙げられる．

o) 安全性に関する評価

安全性に関する評価は、主に事業における利用空間の適性度の判定に用いられることが多く、事業による周辺への安全度を評価するものと、当該事業の利用空間内の安全度を評価するものがある。例えば「地下街の安全性評価のための避難行動シミュレーション」⁵⁾、「大深度地下利用における防火・避難上の安全性に関する考察」⁶⁾などの研究が挙げられる。

d) 環境への影響に関する評価

環境への影響に関する評価は、自然環境への影響を評価し事業実施の是非の判定および、実施する場合の制限等を決定する場合などに用いられる。例えば「地下開発が地盤環境へ及ぼす影響に関する検討事例」⁷⁾、「CVM（仮想金銭化法）を用いた環境施設帯の経済評価」⁸⁾などの研究が挙げられる。

e) 空間に関する評価

空間に関する評価は、快適性やわかりやすさ等を評価し空間利用における適性度の判定に用いられる。例えば「写真を用いた地下空間の快適性評価について」⁹⁾、「多次元尺度構成法による地下景観のタイプ分類に関する研究」¹⁰⁾などの研究が挙げられる。

以上の既往文献から、評価に関する研究に関して考察を加えると次のようになる。

第一に、分野別の研究の進捗に関してみると、建設分野の工学的手法で評価が可能な「経済性（事業費）」、「安全性」および「空間（建築環境的側面）」からの評価に関しては、研究の進捗が著しいものとする。構造物の設計安全度からの評価、建設から維持管理そして解体までの費用からのLCC評価、地下構造物内の環境快適度からの評価などは建設・維持管理技術の進歩と同時に著しく進展している。一方、評価手法そのものが建設分野の工学的手法のみではなく、社会学、経済学、心理学等からの分析手法を伴う「社会性」、「経済性（波及効果）」および「空間（心理的側面）」からの評価や、評価要素が未知数な自然界への影響を評価する「環境影響」からの評価に関しては、研究成果はみられるものの進捗が著しいとは言い難い。

第二に、評価手法に関してみると、「定量評価」と「定性評価」に大別できる（図-2）。前述の研究の進捗にみられるように「安全性」、「経済性（事業費）」および「空間（建築環境的側面）」からの評価は、事例分析による数値解析が可能であることから評価の定量化が進んでいると考える。一方、「社会性」、「経済性（波及効果）」、「環境への影響」および「空間（心理的側面）」からの評価に関しては、CVM（仮想金銭化法・仮想市場評価法・サーベイ法）、土地区画整理事業の評価方法（遠観方式、地帯価式、路線価式評価法）、使用材料から建設・維持管理・解体までの発生二酸化炭素量を算出するLCA評価法などがあるものの、定性的評価（必要性、予想効果、イメージ・意識など）が多く定量化への発展途上であると考えられる。

第三に、前述の評価手法の中で定性評価から定量評価への研究が進んでいる代表的な分野として「空間（心理的側面）」からの評価が挙げられる。この分野は空間を利用者の立場から評価するもので、イメージ、意識、認知、行動など人間の感覚によるところから定性評価が主であるが、物理心理学や計量心理学から“多変量分析”等の適用が試みられ、空間の定量評価としての研究成果がみられるようになった。

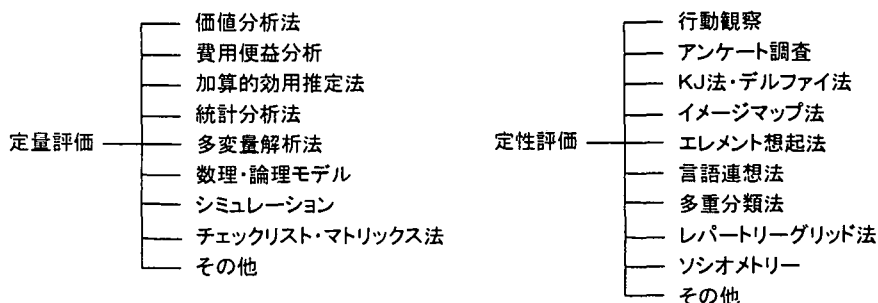


図-2 評価に用いられる主な手法

3. 「マニュアル」による公共事業の評価

(a) 社会資本整備における「評価」の位置づけとマニュアル化

これまでの社会資本整備においては、比較代替案を様々な要素から定性的、相対的に評価することが多かった。評価が具体的に計画や意思決定に適用されてきた例は、一部、ダムや鉄道の受益者負担等を除けば、環境アセスメント、混雑度等の交通指標といったように非常に範囲が限定されている。

しかし、前述のように昨今では評価の必要性が極めて高くなっており、各省でマニュアル化が進んでいる。その分野は、道路、河川、下水道、公園、港湾、鉄道と広範であり、暫定的に運用できるところから順次、公表し適用している状況である。なお、議論途上で未完のものも多く、また、暫定的に公表し、不足部分を改訂しているものもあり、整備途上といえる。マニュアルでは、以下に示すような既往の研究成果や代表的な評価手法のレビューを通じて、評価手法の検討が行われている。

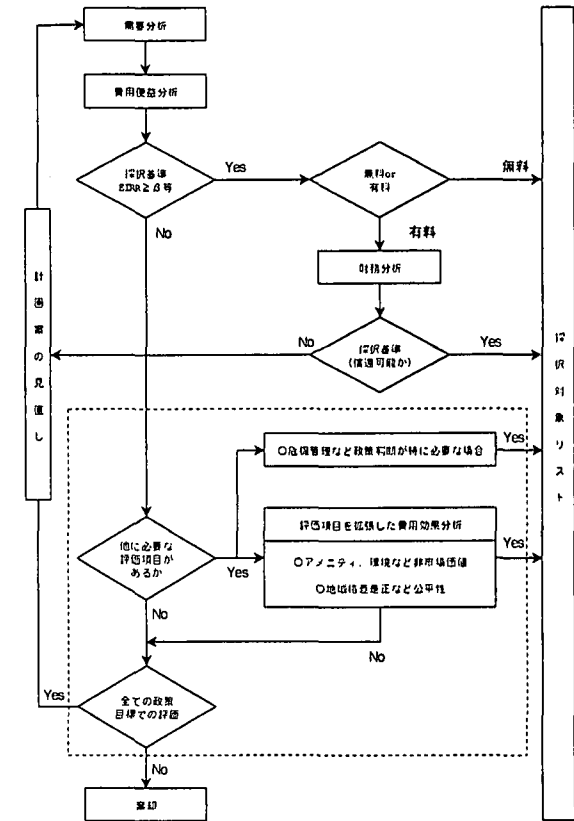
- ・ 代替法（治水経済調査）
- ・ 消費者余剰推定法（道路整備効果）
- ・ TCMトラベルコスト法（公園）
- ・ ヘドニック法（公園、居住環境の質）

(b) 評価の方向性

道路に対する評価を例に取り、評価の方向性を述べることにする。道路の評価マニュアルは交通需要による時間便益、走行費用便益等の費用便益が評価の軸をなしている。これは、評価指標のアカウンタビリティと汎用性が問われた結果である。アメニティ・環境といった、これまで付加的な評価要素として定性的に評価されていた事項に対しても、その重要性は認識されている。

図-3は、マニュアルによる分析のスキームから主要部分を抜粋したものであるが、これらの評価指標は、今後、継続して取り上げるべき課題として位置づけられている。また、公共事業として特徴的なものに、リスクマネジメントや地域較は正といった政策決定要素をどのように評価に組み込むかを強調している点が挙げられる。

また、特記すべき事項に、環境改善便益がある。これは、道路整備によって改善される走行速度と排出量及び騒音の関係から便益を算定するものであり、排出量及び騒音に対して社会負荷の原単位が設定されている。原単位は諸外国の例を参照し、参考値として設定しているものではあるが、検討委員会の成果として公表された。評価に無理な面もあるが、敢えて提示することが重要であり、意義がある。ただし、今後、アメニティ等の評価を行う上で、CVM法（仮想的市場評価法）等の適用が検討されているが、公共事業のもう一つの側面として、全国レベルでみた場合における、評価に要する費用の捻出や技術的な対応能力の有無が隘路の一つになっている。



(注) 内については、今後取り扱っていく予定である。

図-3 分析・評価の流れ

(c) 地下空間への適用と課題

マニュアルは、基本的に地下空間を意識して作成されていない。これは、マニュアルにおける評価指標や評価手順において地下空間のメリットといえる恒温性等の特性が評価されないことからわかる。ただし、前述のように評価の方向性としては、景観、アメニティに踏み込む姿勢がみられ、この時点において一部、地下の特性が評価される可能性もある。したがって、現状の評価が行われる場合、当然ながら地下のメリットが評価されずにコストが強調されることになる。

このような状況下において、現実には地下が選択される場合もあるが、事例分析にみられたように、地上と地下を定量・定性的に評価の上、天秤が地下に傾いたことによって地下を選択しているのではなく、何らかの必然性の下、地下を選択したものと考えられる。

すなわち、「地下空間の評価」には以下の課題があるといえる。

- ・ 恒温性、耐震性等の地下の特性に対する定量評価
- ・ 地下構造物等の耐用年数をタームとしたライフサイクルでの評価
- ・ 地下空間活用による効果波及範囲、影響範囲の明確化

4. 事例からみた「地下空間」選択の理由

地下空間活用の事例として、利用用途の異なる以下の5箇所の事例に対して地下空間の選択の理由を調査し、定性的な評価を試みた。

- ①名城変電所；地下変電所と地下駐車場の一体整備
- ②高山祭屋台美術館；岩盤空洞を利用したジオドーム型の美術館
- ③四日市地下駐車場；道路地下空間に整備された自走式駐車場
- ④地球回廊；戦中の地下工場跡地を利用した通路、博物館
- ⑤岩盤低温倉庫；大谷石採掘跡地を活用した地下倉庫

各事例における地下空間選択理由及び定性的な評価の結果は、次頁の表に示すとおりである。事例分析結果から地下空間選択の理由は、次の3点に集約することができる。

- 地下空間の特性の利用；高山祭屋台美術館，地球回廊，岩盤低温倉庫
- 地上空間の代替（地上空間の確保が困難）；名城変電所，四日市地下駐車場
- 地上環境の保全；名城変電所，高山祭屋台美術館

言い換えれば、地下空間を評価するためには、「地下空間特性に関する評価」、「地上を含めた影響範囲の評価」及び「アメニティ、環境等の評価」が必要であることがわかった。

また、評価を試みて言えることは、定性的な評価はしやすいが、定量的な評価は、どのような切り口（視点）から行うかによって難しい面があると考えられる。ことさらに、不特定多数の利用者を対象とする施設では、費用対効果にウェイトを置いた考え方にならざるを得ない。効果が期待できないにも関わらず、地下空間を利用しなければならないケースもあるからである。

次に、その施設に対して、どの時点で評価するかによっても評価が異なる。計画時、供用開始時、あるいは数十年後に同じ施設を評価する場合、背景となる社会情勢や周辺環境の変化によって、異なる答が出てくることがある。一般論として、供用後に評価することは、客観的に眺めることができるため評価しやすいが、大切なことは、将来への見通しを確実に予測して、計画することである。

表-1 事例からみた地下空間の選択理由と定性的な評価

事例	名城変電所	高山祭 屋台美術館	四日市 地下駐車場	地球回廊	岩盤低温倉庫
所在地	名古屋市	高山市	四日市市	瑞浪市	宇都宮市
事業者	中部電力(株) 名古屋市	(株)飛騨庭石	第三セクター (株)ティイ四日市	瑞浪市	(株)屏風岩
地下空間 選択理由	・地上の変電所建 設が規制 ・名古屋城の景観 阻害 ・騒音問題 ・駐車場の敷地確 保困難 ・立体化による収 容台数の増加	・施主の保有地 ・工芸品の保存に 適している ・非日常性の演出 が可能 ・山林火災からの 防護に有利 ・多雪地域だが冬 季も建設可能	・地上において適 地に整備空間が 存在しない	・既存空間の有効 活用 ・非日常性の演出 ・地上施設との組 み合わせによる 回遊効果	・探掘跡地空間の 有効利用 ・地下空間の恒温 性等の特性利用 ・大谷石が有す脱 臭作用の活用 ・大深度地下で地 震災害に強い
定性的 評価	景観	・保全効果あり	・山の自然破壊が 少ない	・保全効果あり	・公園の風景を阻 害しない
	環境	・防音効果あり	・大規模な切土を せず、環境保全 に配慮		・出入口以外に構 造物なし
	有効 利用	・地上空間の有効 利用可能	・地上展示館との 一体利用	・地上では不可能 なものを整備 ・共同溝と一体化	・地上に全く森林 存続する
	建設時 の影響	・地下工事が主で 影響少ない	・ドーム掘削時の 発破の影響少	・車両交通等の地 上への影響少	・全くなし
	防災	・耐震等の面で有 利	・山林火災からの 保護が可能		・強固な岩盤坑道 ・岩盤劣化につい て監視を要す
	地下空 間の 特性	・変電所 遮音、隔離 ・駐車場 耐候性	・美術品の保存に 有利 ・空間演出が可能	・防音、遮音 ・防火、耐候性	・恒温性により快 適な歩行空間を 確保 ・非日常性演出
	コスト	・市民のコンセン サス形成が課題 ・複合施設化によ りコスト縮減	・メンテナンスコ ストの縮減が図 れる	・商業的にはペイ できない ・公共セクターが 整備	・既存施設の利用 により安価
	マイナ ス面 の 要素	・計画と施工のタ イミングが問題	・展示を行うため 換気等の維持管 理が必要	・コスト大 ・駐車料金の設定 に規制	・特になし
					・跡地利用を考 えた大谷石の探掘 計画が必要

5. 地下空間利用の評価項目の洗い出し～地上部も含めた地下空間利用の評価～

地下空間の活用にあたっては、地下構造物だけでなく地上部も含めてトータルバランスで評価を考える必要がある。ここでは地下空間利用のタイプを大きく「地下空間自体が持っている特性を活かして地下に整備する」場合と「地上空間に制限があり、地下空間に作らざるを得ない」場合の2通りに分けて整理してみる。

(a) 地下空間自体が持っている特性を活かした施設等を地下に整備する場合

地下空間自体が持っている特性を整理すると、遮断性、安定性、自由性という3つの事項が挙げられる。

◆遮断性：遮断性とは、地上部と違って太陽光線が遮断されることによる遮光性とか紫外線の遮断、気象の影響を受けないことによる風雨・風雪の影響の遮断、地上での人々の生活における視覚・接触から隔離する遮蔽、などを指しており、列記すると以下のように整理される。

- ①断熱性 ②遮光性 ③遮音性 ④耐火性 ⑤電磁波・紫外線・放射能等の遮断性
⑥風雨・風雪等の遮断 ⑦遮蔽（視覚、接触）

◆安定性：安定性とは、前記の遮断性とも関連するが、気象の影響をほとんど受けないことによる恒温性とか耐震性などを指しており、列記すると以下のように整理される。

⑧恒温性 ⑨気密性 ⑩耐震性 ⑪不燃性

◆自由性：自由性とは、一定の制限下ではあるものの地下鉄の例に見られるように、地下であれば、必ずしも道路の下でなくても公園の下とか、池の下とかを通ることができ、大きな曲率の線形を持つことができる。大深度になれば民有地の下の利用も可能性があるため、より自由性が高くなる。

⑫線形の自由性

従って、これらの特性を活かして地下鉄を始め、高圧電力の変電機器、受水槽、薬品貯蔵庫、火薬貯蔵庫、農産物貯蔵庫、金庫、融雪槽等が地下に作られている。この様に地下空間の特性によるメリットを積極的に取り入れる場合は、前記①～⑫の地下空間が有する特性そのものが評価項目と判断される。

(b) 地上空間に制限があり、地下空間に作らざるを得ない場合

地上部に物理的なスペースの確保が出来ない場合、あるいは地上部が風致地区であるとか文化遺産があることなどから保全制限がある場合、地下空間に施設等を作らざるを得ない。そこで、地上部制限がもっと緩い場合、例えば公園緑地とか雑木林とかの自然豊かなオープンスペースなどを前提に、環境が持つ評価項目を栗山浩一、盛岡通、藤田荘らの資料^{13) 14)}を参考に整理してみたものを図-4に示す。

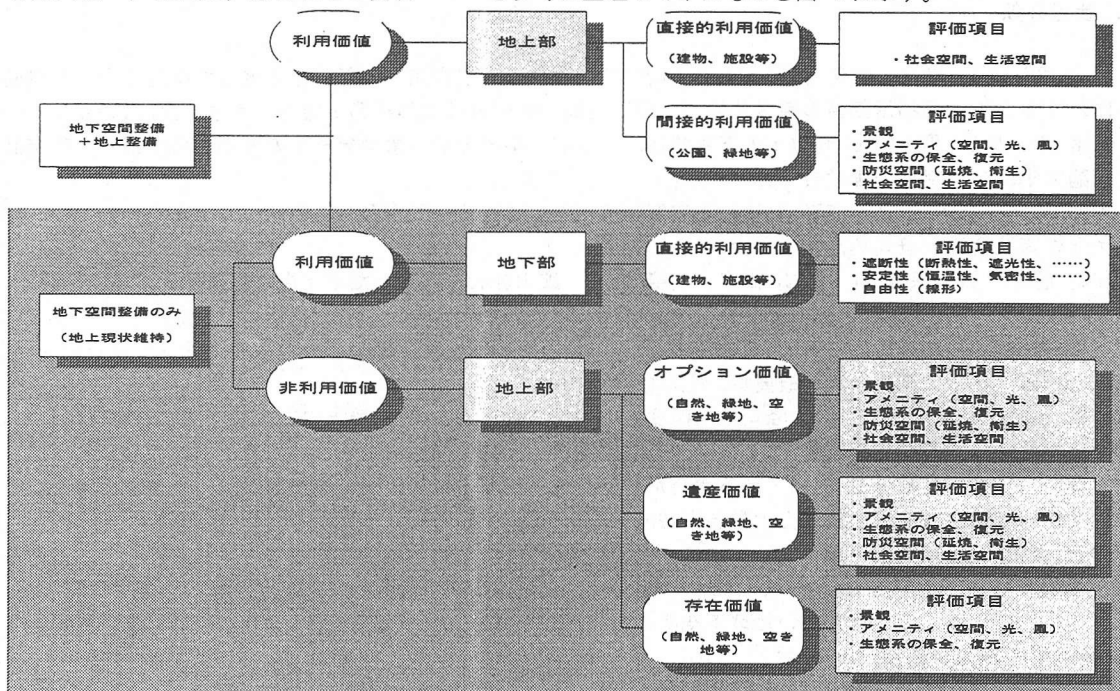


図-4 地下空間整備における地上部も含めた評価項目の整理概要

このように地上部が自然豊かなスペースとなっている場合には、環境資源が有する不可逆性、固有性、不確実性を考慮すると、現時点の利用価値だけではない経済価値を評価していく必要がある。また、地上部が自然環境に限らず、生活空間であったり、空き地であっても、遺産価値を考慮して次世代での利用の可能性も評価項目の一つに含めて考えて行くべきである。

6. おわりに

都市部においては、高層ビルや高架道路等の建設、あるいは地下街や地下駐車場等の建設により、地上空間、地下空間の重層的な利用を行い、限られた土地における高密度化、効率化が図られてきた。

道路や鉄道を地上面に作れば建設コストは安くあがるが、平面交差がもたらす渋滞や事故などの負の経済を考慮して特定区間の高架化やアンダーパス化、地下鉄化を選択する例は多い。つまり、地下空間の利用は都市部においては特別なことではなく、ごくありふれた選択肢の一つと考えることが出来る。

地下空間の整備は建設、運用、維持管理、防災などのコスト面で地上に比べて一般的に不利であるが、ただコスト高という見方に終始するのではなく、基本として人間活動は地上で物流のようなシステムは地下でという認識の時代であることを踏まえれば、地上空間に存在するものの価値、例えば「景観」や「アメニティ」の価値も含めて考慮することによって、実は地下空間の整備は地上に比べてそれほど単純にコスト高で良くないと言い切れない場合もあるのではないかと、ということを説明する計画理論が必要である。

本研究により、評価すべき項目は、結局「景観」、「アメニティ」などのキーワードに辿り着く結果になったが、次のステップとしてこれらの価値をどのような手法で定量的に評価するか、という課題が依然として残る。残念ながら、今期の研究においては、これらの評価項目を数量化するレベルまでには達しなかったが、地下空間の利用価値と評価方法についての議論を呼ぶ一石を投じることができれば幸いである。

7. 参考文献

- 1) 林 良嗣・京谷 孝史・加藤 博和・中島：環境負荷および周辺空間への影響を考慮した交通社会資本整備における地下空間利用価値の定量的評価，地下空間シンポジウム論文集－第1巻－，土木学会，1995.12
- 2) 鈴木 聡・原田 昇・太田 勝敏：地下鉄開業時の事前・事後分析－意向データの有効性の検証－，都市計画論文集，日本都市計画学会，1986
- 3) 下家 時洋・吉本 俊裕・海野 仁：地下空間を河川として利用した場合の経済比較，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，土木学会，1992.9
- 4) 江崎 哲郎・大久保 洋介・棚橋 由彦・甲斐 貴司：鉱山施設を利用した地下揚水発電とその経済性評価，地下空間シンポジウム論文集－第1巻－，土木学会，1995.12
- 5) 横山 秀史・目黒 公郎・山崎 文雄・片山 恒雄：地下街の安全性評価のための避難行動シミュレーション，地震工学研究発表会講演概要集，土木学会，1993
- 6) 吉村 英祐・柏原 士郎・横田 隆司：大深度地下利用における防火・避難上の安全性に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集 建築計画，日本建築学会，1992.8
- 7) 佐藤 純・中村 裕昭・植下 協：地下開発が地盤環境へ及ぼす影響に関する検討事例，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，土木学会，1992.9
- 8) 畑原 隆司・並河 良治・寺川 陽：CVM（仮想金銭化法）を用いた環境施設帯の経済評価，土木技術資料40-5，（財）土木研究センター，1998
- 9) 田中 正・西 淳二：写真を用いた地下空間の快適性評価について，地下空間シンポジウム 第1巻，土木学会地下空間研究委員会，1995.12
- 10) 関口 佳司・北村 真一：多次元尺度構成法による地下景観のタイプ分類に関する研究，地下空間シンポジウム論文集 第3巻，土木学会地下空間研究委員会，1998.1
- 11) 日本建築学会編：建築・都市計画のための 調査・分析方法，井上書院，p.109，1987.4
- 12) 道路投資評価指針検討委員会編：道路投資の評価に関する指針（案），（財）日本総合研究所，1998.6 など
- 13) 栗山浩一：「公共事業と環境の価値－CVMガイドブック－」，築地書館，174PP，1997
- 14) 盛岡通，藤田 荘：「環境質および環境サービスの経済価値とその市場への反映－三つの評価 手法の便利とその適用例の比較－」，日本不動産学会誌9-4，1995