

事業化を目指した大谷採石地下空間の価値評価

VALUATION OF OYA TUFF UNDERGROUND QUARRIES FOR ENTERPRISE AND INDUSTRY PROMOTION

高橋 智信¹・多田 海成²・下池 恭平³・清木 隆文^{4*}

Tomonobu TAKAHASHI¹, Kaisei TADA², Kyouhei SHIMOIKE³
and Takafumi SEIKI^{4*}

Oya area in Utsunomiya City, Tochigi Prefecture has many ruined underground quarries for Oya tuff. Some of them are useful spacial resourses for social facilities. In this study, the authors carried out questionarries to people concerned and analyzed the results by AHP, ZTCM and SD method on the sensitivity view. Based on the results, we estimate important points for promoting enterprize and industry, accesbility to underground quarries, profitability of enterprize and industry, structural saftiness, characteristics of underground space. *e.g.* the result cleared that stractural safety is most important factor for enterpresnuers. And the authors tried to make the loacatability of social facilities, *e.g.* storage, athletic gym, cloud system servers and so on. The results suggest to utilizing manner of underground quarries in categraized regions of Oy area. Finally the authors also considered a heating facility in a underground quarries by numerical analysis and suggests its opitimized location of those facilities.

Key Words : Oya underground quarries, valuation, utilization, questionarry, heat environment

1. はじめに

栃木県宇都宮市大谷地区では、古くから建築資材として用いられてきた大谷石の採石が盛んに行われて来た。しかしながら、大谷石採石後の採石跡地下空間の多くは放置され、荒廃している。再利用されているのは、観光

用に公開されているもの(大谷資料館)などのごく一部であり、大谷地区には利用されていない地下空間が多数存在している。2011年3月に発生した東日本大震災において、大谷地区の地下空間の安全性が改めて問われ、埋め戻すなどの対策の見直しが挙げられる可能性が出てきたが、これらの採石跡地下空間は貴重な空間資源であり、

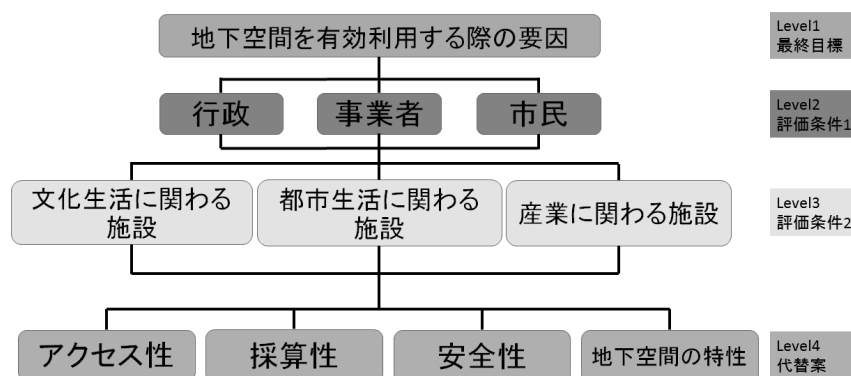


図-1 地下空間利用の視点からのAHPアンケートの階層構造

キーワード：大谷採石地下空間、価値評価、有効利用、アンケート、熱環境

¹非会員 国土交通省 東北地方整備局 (元 宇都宮大学学生) Tohoku Regional Bureau, MLIT.

²非会員 四日市市役所 (元 宇都宮大学学生) Yokkaichi-shi government office

³非会員 NIPPO (元 宇都宮大学学生) NIPPO

⁴正会員、宇都宮大学准教授 大学院 工学研究科 Graduate school of Engineering, Utsunomiya Univ. (E-mail:tseiki@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

地下空間の有する特性を有効に活かして利用することで、地上施設よりも環境負荷の低減を図ることが出来ると考えられる。これまで、大谷地域において地下空間の有効利用可能性は貯蔵施設、都市施設などの施設を地上に建設する場合と地下空間内に建設する場合の環境負荷の差によって、その最適性を議論¹⁾してきたが、具体的にこれらの施設について、価値評価の視点から検討に至っていない。そこで、本研究では、大谷採石地下空間を有効に利用するために、複数の空間を対象にして有効利用法を検討し、大谷地区を活性化させることを目的とする。そこで、大谷採石地下空間の有効利用を実現する際に関係する行政、事業者、市民を対象にしてアンケートを実施した。この結果によって明らかになる課題を整理する。また、大谷採石地下空間の価値評価をトラベルコスト法をもとにして、推定することを試みた。なお、地下街などの都市部の地下空間の価値評価については、様々なアプローチが行われているが、既設の採石地下空間の利用方法を検討・提案するために、検討された研究事例はない。さらに、大谷地域内に存在する採石跡地下空間群と一つの採石地下空間において、空間の配置について検討するとともに、この結果から利用可能な空間施設とその位置関係について、検討を行った。

2. 地下空間の有効利用法に関するアンケート

(1) 実施したアンケートの概要

地下空間の有効利用法に関するアンケートを階層分析法(Analytic Hierarchy Proces, 以下AHP)で不確定な状況や多様な評価基準における意思決定手法を応用して確認した。

本研究では、宇都宮市大谷地域に多数存在する大谷石採石跡の地下空間を有効に活用する際に、行政、事業者、市民などの各主体者が想定される施設に対してどのような要素を重要視する傾向があるのかについて把握するためのアンケート調査を実施した。

(2) 本研究における階層構造

AHPアンケートを実施するにあたっての本研究における階層構造を図-1に示す。Level1は最終目標であり、地下空間を有効利用する際の要因の評価となっている。

Level2とLevel3は評価基準であり、それぞれLevel2では主体者のレベル、Level3は地下空間に建設する施設に関するレベルである。最下層であるLevel4は、代替案を示すレベルである。本研究では、既往の研究¹⁾において地下空間の不動産価値に影響を及ぼすと考えられている「アクセス性」「採算性」「安全性」「地下空間の特性」

の四つを抽出し有効利用する際に比較検討すべき要因とした。

(3) AHPアンケートの実施

まず本研究のアンケートでは、宇都宮市役所産業政策課の方々のご協力を得て、Level2での主体者間の一対比較を行うアンケートを実施した。このアンケートでは地下空間跡地の有効利用法を検討し将来的に“まちおこし”につなげていく上で「行政の意向」「事業者の意向」「市民の意向」の中で特にどの主体者の意向を重視していくのかを実際の経験などから回答してもらった。この際、まちおこしをする段階も比較の上で重要になると考えられるため、「a.事業の構想を練る段階」「b.事業の育成段階」「c.事業が軌道に乗った段階」のそれぞれ3段階において比較をしてもらった。その上で、数回の予備アンケート調査の結果や意見などをもとに本調査を表-1の調査概要ように実施した。本調査では、採石地下空間の有効利用振興に携わった経験がある宇都宮市役所の職員と岩盤工学などに関心をもつ宇都宮大学の学生、大谷採石地下空間において実際にレジャー施設などの観光事業を行っている事業者団体「LLPチイキカチ計画」の方々に対して、Level3およびLevel4での一対比較法によるAHPアンケートを実施した。また、この調査の際に事前にLevel3における3つの施設に関して表-2のような補助説明をパワーポイントで行った。また、今回の調査ではLevel4での個々の代替案に対しては特定の事例に固執しての評価を防ぐために、詳細設定に関する情報は回答者に敢えて提供せずに回答して頂いた。

(4) 時系列別にみた主体者間での比較

まず、跡地地下空間を有効に利用してまちおこしをしていくうえでのLevel2での主体者どうしの比較を3段階での時系列ごとに比較した結果、以下の重みベクトルが得られた。なおG、B、Cはそれぞれ行政、事業者、市民を表している。

a. 事業の構想を練る段階

$$W_{1a}^T = (G, B, C) = (0.221, 0.319, 0.460) \quad (1)$$

b. 事業の育成段階

$$W_{1b}^T = (G, B, C) = (0.101, 0.643, 0.255) \quad (2)$$

c. 事業が軌道に乗った段階

$$W_{1c}^T = (G, B, C) = (0.101, 0.643, 0.255) \quad (3)$$

式(1)～(3)の結果から、事業の構想段階では「市民の意向」を重要視する傾向が強く表れているものの事業が育成および軌道に乗っている段階では最も「事業者の意

表-1 AHP アンケートの調査概要

調査時期	2014年11月
調査方法	事前説明を行った後に調査票を配布する集合調査法
対象者	宇都宮市役所の職員 宇都宮大学建設学科の学生 事業者団体(LLPチイキカチ計画)の皆さま
回収率	有効回答数93票 うち市役所:10票, 学生:78票, 事業者の方:5票

向」を重視していることが確認できる。また、どの段階においても「行政の意向」は最も重みが低くなっており、支援や指導はある程度あるものの発想やアイディアは「市民」が重要視され、それらのアイディアをもとに実際にビジネスとして戦略的に事業化していくのは専ら「事業者」の主導となることが確認された。

本研究では、この三つの段階のうち現時点での大谷地域の状況に最も近い「b.事業の育成段階」についての分析を記述する。

(5) 各主体者に対する施設の重要度の比較

それぞれ「行政」「事業者」「市民」の主体者に対して、Level3にある三つの施設に対して一対比較のアンケートを行い、それぞれの施設の重みベクトルを計算し、それから得られる重要度を比較した。なお、それぞれの重みベクトルは「文化生活に関わる施設」「都市生活に関わる施設」「産業に関わる施設」の順である。

a) 行政に対する比較結果

宇都宮市役所の産業政策課の職員など10名に対して行ったアンケートの集計結果から導かれるそれぞれの重みベクトル W_G^T は、(0.229, 0.290, 0.482)となる。それぞれの施設の重要度は大きいものから順に「産業に関わる施設」(46.2%)「都市生活に関わる施設」(29.0%)「文化生活に関わる施設」(22.9%)となった。行政の立場としては、地下空間の利用の方針を限られた特定の人のみが立ち入ることができ、なおかつ経済的に大きな効果を及ぼすことが可能な産業施設が好ましいと判断している傾向がある。また整合性指数(Consistency Index, 以下C.I.)は0.007で、0.1よりも小さいので、適切な結果となった。

b) 事業者に対する比較結果

現在、実際に大谷地域で事業を行っている事業者団体である「LLPチイキカチ計画」の5名に対して行ったアンケートの集計結果から導かれた重みベクトル W_B^T は、(0.472, 0.078, 0.451)となる。それぞれの施設の重要度は大きいものから順に「文化生活に関わる施設」(47.2%)「産業に関わる施設」(45.1%)「都市生活に関わる施設」(7.8%)となった。最も特異的な点としては、文化生活施設が最も重要度が高くなっており、都市生活施設

表-2 Level3での事前説明での想定施設

A.文化生活に関わる施設の例 ・観光レジャー施設 ・スポーツ施設 ・文化ホール ・地下街 など不特定多数の人が利用する施設	B.都市生活に関わる施設の例 ・上下水道施設 ・供却場 ・通信用データセンター ・石油タンク など都市インフラに役立つ施設	C.産業に関わる施設の例 ・工場 ・物流倉庫 ・野菜の栽培施設 ・貯蔵施設 など特定の産業に関わる施設
---	---	---

設が7.8%と極めて低い値となっている点が挙げられる。事業者としては、不特定多数の人々が立ち入ることができ、レクリエーションとして地下空間を楽しむことができる施設を設置したいと考えていることが分かる。この比較におけるC.I.は、0.0002となった。

c) 市民に対する比較結果

一般市民の大谷に対する意見を収集するために、今回のアンケート調査では宇都宮大学工学部建設工学コースの2年生および3年生の合計78名を対象として、アンケート調査を行った。それぞれの重みベクトル W_C^T は(0.259, 0.367, 0.374)と表される。それぞれの施設の重要度は大きいものから順に「産業に関わる施設」(37.4%)「都市生活に関わる施設」(36.7%)「文化生活に関わる施設」(25.9%)となった。項目の順位は行政と同様であるが、文化生活に関わる施設の重みが行政の方を対象にした場合に比べて、やや大きい傾向を示す。なお、C.I.は0.004となった。

d) Level3での重みの比較

a)からc)の結果を受けて、AHP階層構造における主体者間での重みも踏まえたLevel3の重みベクトル W を検討する。本研究では、三つの時系列によって主体者間の比較の重みの変化を計算していたがこれ以降の計算では、現時点における大谷地域の状況に最も近い「b.事業の育成段階」に絞って分析を行っていく。「b.事業の育成段階」における主体者の重み W_b^T とそれぞれの主体者におけるLevel3の重み W_G^T 、 W_B^T 、 W_C^T を踏まえた計算を行った結果、主体者の重みも含めたLevel3の重みベクトル W は、「文化生活に関わる施設」「都市生活に関わる施設」「産業に関わる施設」の順に、(0.352, 0.243, 0.403)となった。

e) 「生活文化施設」を建設する場合の各代替案の重要度

「文化施設」を地下空間に建設とした場合に行政、事業者、市民のそれぞれ行った代替案に関する一対比較のアンケート結果からLevel4である「アクセス性」「採算性」「安全性」「地下空間の特性」の重要度を求めた。ここで、「b.事業の育成段階」における主体者の重み W_b^T を考慮した主体者全体での重要度 W_1^T を導くと、主体者の発言力も考慮した「文化生活に関わる施設」を建設したときの代替案の重みは「アクセス性」「採算性」

表-3 コンジョイントアンケート実施概要

調査時期	2015年1月
場所	道の駅うつのみや「ろまんちっく村」
対象者	現時点で大谷地域で事業を行っている「LLPチイカチ計画」の方々
回収率	有効回答数 4票

表-4 各属性の部分効用値とレンジと重要度

係数記号		係数	t値	P-値	レンジ	重要度(%)
	切片	2.5	6.377928	1.36E-06		
a2	柱房式	0.0625	0.225494	0.823504	0.0625	1.7
a4	水たまりが一部溜まっている	-0.0625	-0.22549	0.823504	0.0625	1.7
a6	避難口なし	-1.1875	-4.28438	0.000256	1.1875	32.2
a8	横坑式出入口	1.9375	6.990308	3.15E-07	1.9375	52.5
a10	壁に汚れなし	0.3125	1.127469	0.27069	0.3125	8.5
a12	天井が5m	-0.0625	-0.22549	0.823504	0.0625	1.7
a14	換気施設必要なし	0.0625	0.225494	0.823504	0.0625	1.7
	計				3.6875	100

「安全性」「地下空間の特性」の順に、(0.112, 0.203, 0.467, 0.217)となった。

f) 「都市施設」を建設する場合の各代替案の重要度

「生活文化施設」と同様に、「都市施設」を地下空間に建設するとした場合に行政、事業者、市民のそれぞれ行った代替案に関する一対比較のアンケート結果から「アクセス性」「採算性」「安全性」「地下空間の特性」の重要度を求めると、「都市生活に関わる施設」を建設したときの代替案の重みは「アクセス性」「採算性」「安全性」「地下空間の特性」の順に、(0.119, 0.196, 0.570, 0.115)となった。

g) 「産業施設」を建設する場合の各代替案の重要度

「生活文化施設」「都市施設」と同様に、「産業施設」を地下空間に建設するとした場合に行政、事業者、市民のそれぞれ行った代替案に関する一対比較のアンケート結果から「アクセス性」「採算性」「安全性」「地下空間の特性」の重要度を求めると、「産業施設」を建設したときの代替案の重みは「アクセス性」「採算性」「安全性」「地下空間の特性」の順に、(0.111, 0.281, 0.439, 0.168)となった。

h) 階層全体の重み付け

最終目的に対するすべての階層を考慮した代替案どうしの重みづけXは、前述の各階層での計算結果を踏まえて求められる。

以上の結果より、本研究での最終目標であった「地下空間を有効利用する際の要因」に対する代替案の重みは「アクセス性」「採算性」「安全性」「地下空間の特性」の順番に(0.113, 0.232, 0.480, 0.172)となる。この結果より、それぞれの要因の重要度は「アクセス性」(11.3%)、「採算性」(23.2%)、「安全性」(48.0%)、「地下空間の特性」(17.2%)と与えられる。

表-5 地下空間価値評価のためのアンケートの調査概要

調査時期	2014年12月
場所	大谷資料館
調査方法	入館時に調査用紙を配布し、帰る際に記入してもらい回収する
対象者	大谷資料館を訪れた観光客
回収率	配布枚数200枚 有効回答数163票
	回収率: 81.5%

表-6 トラベルコストの推定結果と検定

回帰統計	係数	t	P-値
重相関 R	0.98554		
重決定 R ²	0.97129		
補正 R ²	0.964112		
標準誤差	3095.596		
観測数	6		

3. 地下空間の不動産的価値に関する検討

(1) 不動産的価値検討の概要

それぞれ異なる地下空間を「地下物件」として不動産的に見た場合にどのような特徴をもつ地下空間が事業者にとって魅力に感じるのかについて7属性2水準のコンジョイント分析を行った。抽出した七つの属性項目は「掘削方式」「地下水」「避難口」「出入口構造」「壁面状態」「天井の高さ」「換気施設」でありそれぞれに2種類の選択肢を与えて、八つのプロファイルを作成し、実際に大谷地域で事業を行っている「チイカチ計画」の方々4名を対象として、それぞれを5段階で評価して頂いた。なお、これらの実施概要を表-3に示す。

(2) 各属性の部分効用値と属性

各属性の部分効用値及びレンジと重要度は、表-4のようになった。事業者は主に、「避難口がある」とこと「横坑式の出入口である」という地下物件が不動産的に魅力を感じていることが分かった。これは、事業者が、「安全性」と「事業を行う際の利便性」を特に重視している結果と捉えることができる。しかし今回の調査では、サンプル数が4名と非常に限定的な調査となり、統計的にはやや疑問の残る調査結果となっている。しかしながら実際に資金を投じて事業を展開されている方々の視点からの意見であり興味深い結果である。

4. トラベルコスト法による環境価値評価

(1) 実施概要

今後の有効利用策を決めるにあたって、現段階における大谷地域の環境価値について、ゾーン・トラベルコスト法(Zonal Travel Cost Method, ZTCM)を用いて定量化を試

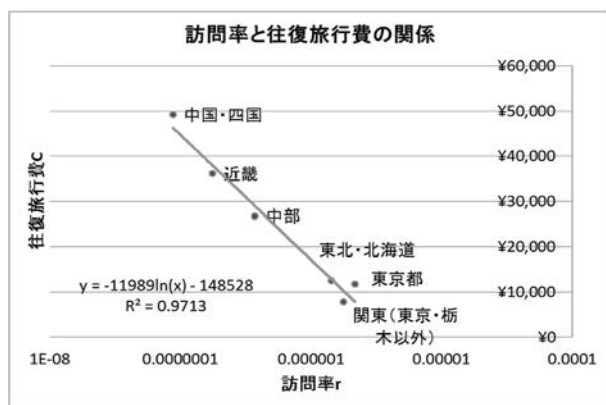


図-2 大谷資料館のレクリエーション需要関数

みた。本研究でのゾーン・トラベルコスト法でのアンケート調査の実施概要については表-5に示す。トラベルコストの算出にあたっては、栗山²⁾の手法を用いて、大谷資料館でのアンケート調査によって判明した回答者の出身地や大谷地域までの交通手段のデータから全国を7つのゾーンに分け、それぞれの出身都道府県からの往復の交通費を求めた。最終的に往復旅行費と訪問率の関係から片対数関数を用いて導かれるレクリエーション価値MSを算定した。

(2) 大谷地域のトラベルコストの算出

アンケートは2014年12月27日(土)に大谷資料館の訪問客を対象に実施した。有効回答数は163票であった。アンケート調査から各7つのゾーンにおける平均往復旅行費を算出し、これらをもとに統計上の外れ値とみなした九州・沖縄地域を除いた6つのゾーンでのレクリエーション需要関数を求めると、図-2のような右下がりの需要関数が導かれる。これらをもとに重回帰分析によって、多目的旅行と機会費用を考慮しない場合における大谷地域のレクリエーション需要関数が求められた。またこの関数の推定結果と検定を表-6に示す。この結果から、現段階における機会費用を考慮しない大谷地域のレクリエーション価値MSは11,989円と算出された。今回算出した値は、今後継続的に同様の手法によってトラベルコストを算出することで大谷地域の魅力度の移り変わりについて把握することが可能となる点で意味深い数値である。

5. 利用者意向の抽出を目的としたアンケート調査

本章では、地下空間の利用者が感性の観点からSD法に基づく感性アンケート調査を実施し、利用者の意向について調査・検討を行う。ここでは、アンケート結果を、

まずはSDプロフィールに整理することで、大谷採石地下空間に対するイメージの大まかな傾向を属性ごとに比較する。その後、「快適性」を目的変数とした重回帰分析によって、快適性に相関のある形容詞の抽出を行うことで、大谷採石地下空間に対する利用者の意向を分析する。

(1) アンケート調査の概要について

アンケートの被験者は、2013年11月5日に公益社団法人 地盤工学会 関東支部 栃木県グループが関東支部創立10周年を記念するイベントとして、大谷地区にある大谷資料館の地下空間内で開催した、「OHYA UNDERGROUND SYMPOSIUM ～地下があるから、できること～」の参加者を対象にアンケート調査を実施した。

本研究で用いた形容詞対は、地下空間の感性的な評価を試みた既往の研究において、Kasmerの環境評価尺度と呼ばれる形容詞対の中から適切と考えられる25種の形容詞対を選択し、それらを用いたアンケート結果を因子分析することで、因子負荷量が大い8種の形容詞を選定したものを参考にした。アンケートの被験者は、このシンポジウムに参加した大学生、事業者、一般住民等から構成される48名である。全サンプル48件の中から、解答欄に未記入欄が一つでもあるものを取り除き、有効サンプル数を38件とした。

(2) アンケート結果について

得られたアンケート結果を良いイメージで捉えられる場合を7、悪いイメージで捉えられる場合を1とし、被験者の回答の平均得点、標準偏差を求めた。アンケート結果のSDプロフィール(SD法により得られた結果の平均得点を折れ線グラフとして整理し、得点の高い順に並べたもの)を図-3、図-4に示す。

(3) 重回帰分析

本研究では、「快適性」に強く関係する形容詞の尺度を抽出するために、アンケート結果を用いた重回帰分析を行う。重回帰分析を行うにあたって、「快適な」を目的変数 y 、それ以外の変数を説明変数 $x_1 \sim x_{11}$ と定めた。

有効サンプルとした38件の全データを用いた重回帰分析を行った。その結果を式(4)に示す。

$$y = 0.274 x_1 + 0.411 x_5 + 0.183 x_{10} + 0.631 \quad (4)$$

重相関係数は0.7217、自由度調整済みの決定係数は

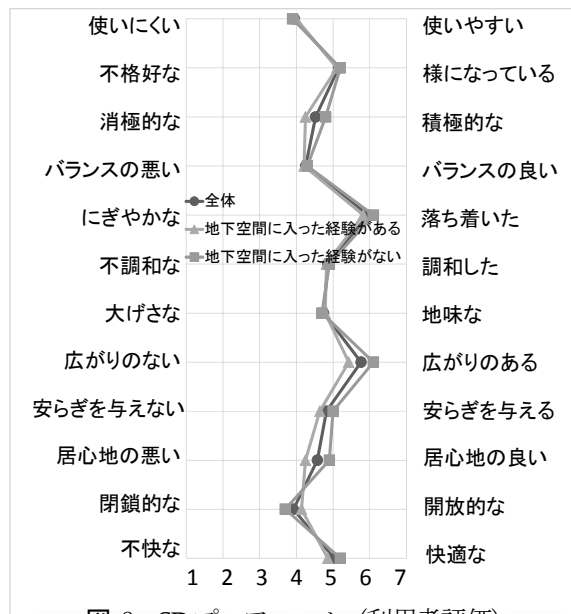


図-3 SDプロフィール（利用者評価）

0.4785である。P値は $0.0319 < 0.05$ の条件を満たすので、有意水準5%で有意差がある。この結果から、「使いやすい： x_1 」「落ち着きのある： x_5 」「居心地の良さ： x_{10} 」が、快適性に比較的強い影響を与えていると考えられる。

6. 構造形式の違いに着目したアンケート調査

先の章で述べた利用者の意向の抽出を目的としたアンケートに対し、ここでは大谷採石地下空間の構造のみに着目する。採石地下空間をその石材掘削を避けて残した柱(残柱)で支える柱房式と坑道側壁でその構造を支える長壁式という2種類の構造において、それぞれ被験者が各構造に対してどの程度の感性の差が生まれるか検討するため、前章と同様の感性アンケート(図-3)を実施した。

(1) アンケート調査の概要

アンケートの被験者は資料館の来訪者であり、2014年12月27日に大谷資料館のロビーにおいて回答して頂いた。大谷資料館の構造形式は柱房式であるが、一部は写真の撮影アングルを工夫することで柱房式と見なせる箇所、長壁式と見なせる箇所があるので、特徴的な場所を選定し、被験者の方にその地点から見える構造についてそれぞれ評価していただいた。

(2) アンケート調査の結果について

回収したアンケートは178件であり、その中で未記入のサンプルを除いた134件を有効サンプル数とした。

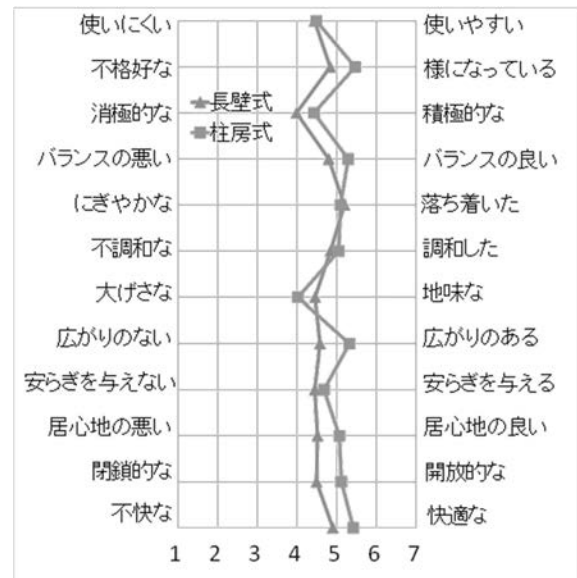


図-4 SDプロフィール（構造別評価）

(3) 重回帰分析について

柱房式、長壁式それぞれの構造において、有効サンプルとした134件のデータを用いた重回帰分析を行った結果を式(5)、(6)に示す。

$$y = 0.354 x_{10} + 0.194 x_3 + 0.141 x_{11} + 0.136 x_6 + 1.363 \quad (5)$$

$$y = 0.493 x_{10} + 0.167 x_8 + 0.156 x_3 + 1.298 \quad (6)$$

柱房式の結果では、「居心地の良さ： x_{10} 」「積極的な： x_3 」「開放的な： x_{11} 」「調和した： x_6 」、長壁式の結果では、「居心地の良さ： x_{10} 」「積極的な： x_3 」「開放的な： x_{11} 」「調和した： x_6 」が快適性に比較的強い影響を与えていると考えられる。

7. アンケート調査による最適な地下施設評価の試み

本研究では、地下空間の持つ「空間の広がり」に着目し、アンケート調査を実施し検討を行った。それぞれの結果によって地下空間に対する最適な施設を本章では検討する。

(1) 利用者評価から想定する最適な地下施設の検討

回収した38件のデータに対して、総合評価である「快適な－不快な」因子を除く11因子による因子分析を行った。ここでは、固有値を求め、1.0以上の固有値

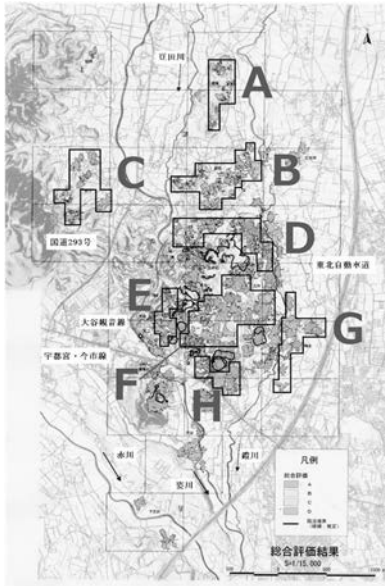


図-5 大谷採石地下空間群マップと群の区分
(資料³⁾に加筆)

をもつ因子が地下空間の説明に意味のあるものとして取り扱う。固有値の値から上位5つが説明力のある因子であり、その累積寄与率は72.4%である。

次に、因子解釈を行うためにバリマックス回転を用いた。この結果から、第1因子から第5因子それぞれは、印象度、休息感、評価性、見映え度、安心感を表す因子であると解釈する。

(2) 構造別評価から想定する最適な地下施設の検討

重回帰分析の結果では、被験者は「使いやすい」「落ち着いた」「居心地の良い」の3項目が快適性に比較的高い影響を与えていると考えられる結果となった。これは先に述べた因子分析の結果から、「使いやすい」という項目は印象度、「落ち着いた」という項目は安心感、「居心地の良い」という項目は休息感を表す結果であり、この印象度、安心感、休息感という3つの尺度をもつ地下施設を、被験者は快適であると感じることがわかる。つまり、大谷採石地下空間に地下施設を想定する際、観光施設や展示施設のように人々が自ら入ることが可能で、かつ、落ち着くことのできるような施設を望んでいると解釈する。回収した134件のデータに対して、柱房式、長壁式の結果それぞれに対して同様に因子分析を行う。

柱房式の構造に着目したアンケート調査においては、固有値の値から上位4つが説明力のある因子であり、その累積寄与率は65.7%であった。一方で、長壁式の構造に着目したアンケート調査においては、固有値の値から上位3つが説明力のある因子であり、その累積寄与率は64.2%であった。因子の解釈を行うためにバリマックス

ス回転を適用した結果を表-9、表-10に示す。

柱房式における因子は、第1因子から第4因子それぞれは、バランス感、構造的、機能性、評価性を表す因子であると解釈する。長壁式における因子は、第1因子から第3因子それぞれは、バランス感、見映え度、機能性を表す因子であると解釈する。重回帰分析の結果では、柱房式に対して被験者は「居心地の良い」「落ち着いた」「バランスの良い」の3項目が快適性に比較的高い影響を与えていると考えられるという結果となった。これは先に述べた因子分析の結果から、「居心地の良い」「落ち着いた」「バランスの良い」の3項目ともにバランス感を表す結果となった。この「バランス感」という尺度は、今回、室内の安心感と屋外の開放感を兼ね備えた空間であると解釈するので、特定の人々が安心して入れるような比較的大きな施設が挙げられる。そのような点を考慮すると柱房式の地下空間では、大規模な生産施設や研究・実験施設が有利に働くと考えられる。

長壁式に対して被験者は「居心地の良い」「様(さま)になっている」の2項目が快適性に比較的高い影響を与えていると考えられるという結果となった。これは先に述べた因子分析の結果から、「居心地の良い」はバランス感、「様になっている」は見映え度を表す結果となった。この結果から、安心感や開放感に加え、見た目の華やかさが特徴となるような施設が、長壁式の地下空間にとって有利に働くと考えられる。見た目が華やかであるという点では、柱房式の地下空間に適した生産施設や研究・実験施設に加え、不特定多数の方が入れる、これに加えて、これらの施設の中でも比較的大きな施設が必要であるスポーツ施設が長壁式の地下空間に適していると想定する。

(3) アンケート調査から判断する大谷採石地下空間群の利用形態について

栃木県宇都宮市大谷地域に存在する採石地下空間は、現在およそ300箇所の地下空間が存在している。そのうち空洞形状が判る247箇所の地下空間をマップ上に記したものを、それぞれA~Hの八つの群に区分けした地下空間の位置を図-4に示す。利用者評価によるアンケート、柱房式の地下空間に対するアンケート、長壁式の地下空間に対するアンケートから、それぞれ生活観光施設(E群、または、F群)、研究・実験施設(D、G群、または、F群)、スポーツ施設(B群、または、D群)の3つの施設を想定した。

8. まとめ

本研究では、栃木県宇都宮市大谷地域に点在する採石地下空間を群でとらえ、まずはその利用の方針を行政、事業者、利用者の視点で整理した。またこれらの地下空間群としての利用に関する検討と、一つの地下空間において、設備設置位置で、地下空間の恒温性を活用する場合の留意点を検討した。

本研究では、大谷想定施設の比較では、事業者が文化生活施設を最も有効としているのに対し、行政と市民は産業施設を最も有効と考えている結果となり、特定の人しか出入りしないために安全面でのリスクが少なく、地域経済の活性化に直接結びつく産業施設が好まれた結果といえる。これにより、地下空間の安全性に確証が持たず、地上に比べて危険な空間だと感じている人が多いことが考えられる。地下空間の特性があまり重要視されない結果となったのは地下空間という非日常な空間資源のメリットがあまり思い浮かばない人が多いためと考える。事業者は「出入口が横坑式」「避難口がある」条件が地下空間を不動産的に見た場合に魅力を感じている。これは見た目や構造よりも安全性と物品運搬時の利便性による事業のしやすさを重要視している結果ととらえられる。

トラベルコスト法の結果は事業化をする前後での経済効果を判断することができる重要な指標となった。本論文には誌面の関係で掲載しなかったが、熱伝導解析の結果からは、地下空間中央部に熱源を置く場合と地下空間角部に置く場合とでは中央部に熱源があるほうが全体的に温度の上昇が生じてしまうことが解析結果から得られている。このように施設配置によって地下内部に与える温度上昇の影響は異なることが確認されたことから不動産として地下空間を売り出す際に施設配置に対して制約

が生まれることが考えられる。

本研究はまた、人々の感性というソフトと大谷石採石地下空間のもつ熱特性というハードの融合をさせる観点から、大谷採石地下空間群の利用形態の検討を試みた。本研究で想定した施設で述べると、研究・実験施設と生活観光施設は互いに熱の影響を受けない距離にある地下空間を選択して配置することが望ましく、周囲の熱の影響を受けても、受ける影響が小さい施設であること、周辺岩体の温度が上昇することが許容される多目的スポーツ施設などを周囲に配置することが有効である。

構造形式の違いに着目したアンケート調査では、被験者に実際に各構造の地下空間に入ってもらったわけではなく、柱房式である大谷資料館に対して、長壁式の構造に見える箇所ではアンケートに回答して頂いたため、今後被験者に実際の各構造の地下空間に入ってもらうことが必要である。さらに、今回は、地下空間の持つ「空間の広がり」に着目し調査・検討を行ってきたが、さらに地下空間のもつ色彩、光といった視覚に訴える要素を十分に考慮する必要がある。

参考文献

- 1) たとえば、多田 海成、岡崎 耀子、佐藤 大地、清木 隆文：利用者評価に基づいた施設における大谷採石地下空間の有効利用に関する研究、地下空間シンポジウム論文・報告集、第20巻、土木学会〔一般投稿論文〕, pp.97-102, 2015.
- 2) 栗山浩一：環境の価値と評価手法、北海道大学図書刊行会、1998.
- 3) 栃木県、大谷採取場跡地安定度評価、2001.