

# 利用者のニーズに着目した 大谷採石地下空間の有効利用に関する検討

## STUDY FOR EFFECTIVE USE OF UNDERGROUND QUARRIES AT OYA WITH FORCOUS ON USE'S NECESSITY

多田 海成<sup>1\*</sup>・井上 達也<sup>2</sup>・佐藤 大地<sup>3</sup>・清木 隆文<sup>4</sup>

Kaisei TADA<sup>1\*</sup>， Tatsuya INOUE<sup>2</sup>， Daichi SATO<sup>3</sup>， Takafumi SEIKI<sup>4</sup>

In recent years, the land shortage of urban areas and reduction of an environmental impact such as reduction of CO<sub>2</sub> are called for. Therefore it is hoped that it plans the improvement of city function and reduction of the environmental loads by using underground spaces. This study focused on Oya area, Utsunomiya City, Tochigi Prefecture, in which over 200 underground quarries located and intend to utilize underground space more actively. This study regards those underground quarries as space resources having constant temperature characteristics. And the authors considered a suitable way to utilize them with assumption of constructing and operating social facilities. We carried out heat transfer analysis by FLAC3D and also evaluated amount of CO<sub>2</sub> exhaust with calculating heat load and power consumption using results of numerical analysis, and compared between ground facilities and an underground facilities. This study selected to the facility as an art museum with a psychological questionnaire to the user about general underground facilities. Finally, we concluded that the underground art museum is one of the suitable facilities to utilize the underground spaces in Oya area.

**Key Words :** Oya tuffi, underground space utilization, heat load, questionnaire

### 1. はじめに

#### (1) 研究背景

近年，大深度地下をはじめとする地下空間の利用が注目されている。この理由としては，都市部の土地不足があげられる。先進諸国が現在の速度で発展を維持すれば，都市部の過密化が進行し，深刻な問題となることは明らかである。地下空間の利用によって，都市の規模を現在のままとし，かつ，都市機能の向上を図ることが期待される。さらに近年，地球温暖化が進行しており，CO<sub>2</sub>の削減をはじめとする環境負荷の低減が求められている<sup>1)</sup>。そこで，地下空間が有する特性を活かすことで施設の建設や運用に要する環境負荷を低減し，環境にも配慮することができる。既存の地下空間を貴重な空間資源として捉え，種々の用途への利用が求められている。

#### (2) 研究目的

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行われている。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，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。そこで，本研究では地下空間が多数存在する大谷という地区全体に着目し，大谷地区全体を地下空間の有効利用により活性化を図ることを目的としている。つまり，地下空間に様々な利用可能な施設が混在している町を目指す。地下空間にあった施設や地域住民が必要としている施設を検討して選定する。

本論文では，大谷地域でアンケートを行い，住民の意見を，大谷採石地下空間を活用する施設に反映させ，現存する大谷採石地下空間を有効利用することをふまえ，地上・地下で同様の規模の施設の運営を想定する。その施設に関する熱伝導解析を行い，地上施設と地下施設における環境負荷の比較を行うことを目的とする。

キーワード：大谷石，地下空間利用，熱負荷，アンケート

<sup>1</sup>学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Utsunomiya Univ, (E-mail: mt136430@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

<sup>2</sup>非会員 JR 東日本 JR-EAST

<sup>3</sup>非会員 宇都宮市役所 Utsunomiya city office.

<sup>4</sup>正会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Utsunomiya Univ.

## 2. 栃木県宇都宮市大谷地区の概要

宇都宮市は、首都圏から約100 kmに位置し、東北新幹線でJR東京駅から49分、東北自動車道で浦和ICから98 kmと交通至便の地であり、古くから北関東エリアの中核都市として発展してきた。また、大谷石は、宇都宮市の中心から北西約7 kmの大谷町付近に、北西に約2 km、南西に約4 kmにわたり、薄い緑色の凝灰岩として所々に露頭が見られる。採石地域は北西に約3 km、南北に約6 kmにわたって分布している。

## 3. 大谷採石跡地下空間の有効利用のアンケート

### (1) アンケート調査の概要・目的

著者らは、大谷地区・宇都宮市内・宇都宮市外の方へ、大谷地区の活性化へ繋げるために、大谷採石跡地下空間が今後どのように有効利用され、地下施設として活用することが望ましいか、アンケートを通して調査した。この5つの施設を選定した理由は、貯蔵施設、生産施設、研究施設、防災施設は既往の研究により地上との比較が行われ、有効性の検討されており、ある程度有効性の確認がとれている結果となっているので、この4つの施設を選定した。また、生活観光施設は、まだ検討が行われていないが、今後大谷で事業が進む可能性があるため、今回この5つの施設を選定した。

### (2) アンケート調査の方法と内容

2012年11月18日に大谷地区で「Oya★まちづくりイベント」が開催された。これは大谷地区をさらなる活性化を目指すため、10代の著者を対象としたイベントである。このイベントは同宇都宮大学の教育学部の研究室

が主催し、著者らの研究室が共催したものである。

このイベントに参加された方を対象に、アンケートを配布し回答して頂いた。「活気が出る」を7、「活気が出ない」を1として、生活・観光施設、貯蔵施設、生産施設、研究施設、防災施設の5つの施設を対象にアンケートを行った。アンケート内容を図-1に示す。

### (3) アンケート結果

アンケート結果を表-1、図-2に示す。アンケート結果では居住地別（大谷地区、宇都宮市内、宇都宮市外）の3つの属性で分けた。5つの施設で最も高い評価を得た施設は生活観光施設であった。また、大谷在住の方は4人と非常に少ない結果となった。全体の評価と比較すると、生活観光施設への高評価は変わらず、他の4つの施設において、居住地別にそれぞれ変化があった。

### (4) 考察

表-1から、大谷地区、宇都宮市内、宇都宮市外において、5つの施設で最も高い評価を得た施設は生活観光施設であった。これは、被験者が娯楽など自ら楽しめる施

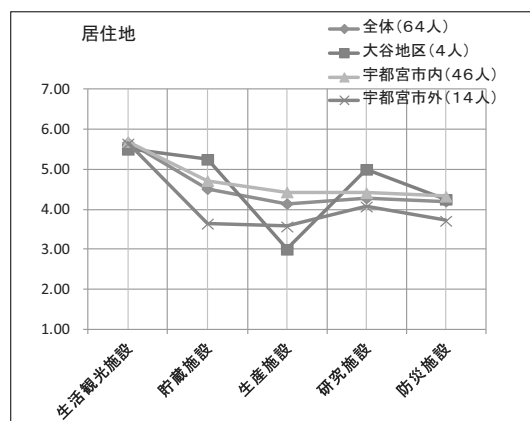


図-2 居住地別の評価グラフ

生活・観光施設（地下街・コンサートホールなど）								
活気が出ない	1	2	3	4	5	6	7	活気が出る
貯蔵施設（食料など）								
活気が出ない	1	2	3	4	5	6	7	活気が出る
生産施設（地下発電所・地下工場など）								
活気が出ない	1	2	3	4	5	6	7	活気が出る
研究施設（スーパーカミオカンデのような）								
活気が出ない	1	2	3	4	5	6	7	活気が出る
防災施設（避難所・シェルターなど）								
活気が出ない	1	2	3	4	5	6	7	活気が出る

図-1 アンケート方法

表-1 アンケート結果

施設名	全体	大谷地区(4人)	宇都宮市内(46人)	大谷・宇都宮以外(14人)
	評価	評価	評価	評価
生活観光施設	5.672	5.500	5.696	5.643
貯蔵施設	4.516	5.250	4.717	3.643
生産施設	4.145	3.000	4.432	3.571
研究施設	4.281	5.000	4.413	4.071
防災施設	4.203	4.250	4.326	3.714

設を大谷に望んでいると解釈できる。しかし宇都宮市外の被験者は、生活観光施設以外にネガティブなイメージを持つ傾向がある。これは、宇都宮市外の方は、大谷地区に関心が薄い、または、貯蔵施設や生産施設などを身近な施設と捉えられず、イメージがつきにくいのではないかと考えられる。このような感覚を持った理由は、実際に調査しないと分からないが、個人の住む環境によって、施設に対するイメージが異なると考えられる。また、本研究室で実施したアンケートは、実施したイベントの性質から大谷地区の周辺住民からの意見が多くなると想定されたが、約6%に留まった。大谷地区の周辺住民の意見をさらに反映できるように、今後工夫が必要である。

#### 4. 有効利用を検討する施設

アンケート結果から、地域住民は生活観光施設の利用の関心が高いことがわかった。よって今回は生活観光施設の展示施設である美術館について検討を行った。展示施設には、他には博物館や資料館などが挙げられるが、大谷資料館内で開催された美術展が好評であったことや、立体式塩田跡を地中美術館として利用して地域復興を担った香川県の事例<sup>2)</sup>に倣って、美術館を選択し、有効利用について検討を行った。

#### 5. 検討対象地下空間概要

本研究において、地下施設である美術館を想定するにあたり、宇都宮市大谷地区に現存する採石地下空間を対象として、美術館の運営を行うことを想定し、地上施設と地下施設における環境負荷の比較を行うため熱負荷計算を行う。対象とした地下空間の平面図を図-3に示す。図-3の斜線部である空間を、美術館と選定する空間とする。

#### 6. 熱伝導解析

##### (1) 解析条件

解析ソフトFLAC3D(Itasca 社)の熱伝導解析のオプションを用いて解析を行った。これは、実存する大谷地域の採石地下空間をモデルとして設定し解析を行った。対象とする地下空間は、高さが40 m、15.0 m×15.0 mの正方形断面の立坑と3.0 m×3.0 mの横坑を持つ。内面積は4,014 m<sup>2</sup>、体積は38,394 m<sup>3</sup>として対象地下空間における熱伝導を解析した。対象地下空間において、立坑・横坑からの空気

の流入による影響は考慮せず、美術館を占める空間とそれ以外の空間の間に隔壁設置を想定した。対象地下空間の寸法およびゾーン数は210 m×210 m×60 m、1.5 m×1.5 mのゾーン数が784,000個(図-4)である。また、解析に使用した物性値を表-2に示す。なお、図-4中で色の濃い部分が美術館を想定した空間(図-5)であり、残りの空間との境界は隔壁を設置することを想定し、美術館スペースとその他の空間との間の空気の移動は無視できるとする。

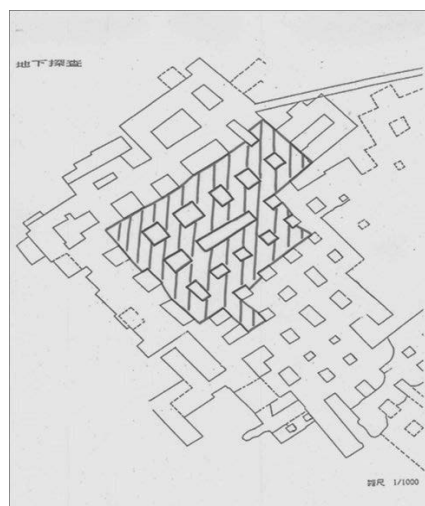


図-3 対象とした採石地下空間の平面図

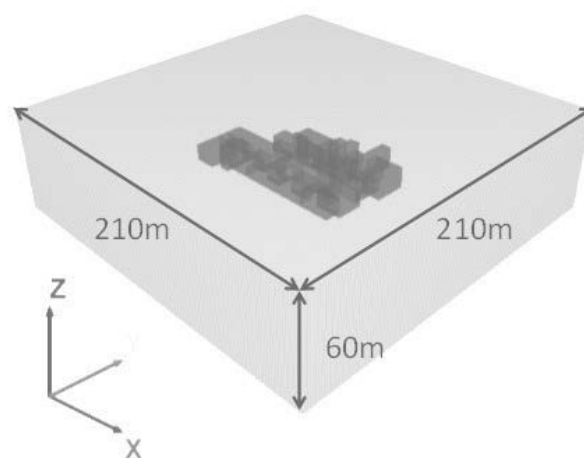


図-4 対象地下空間

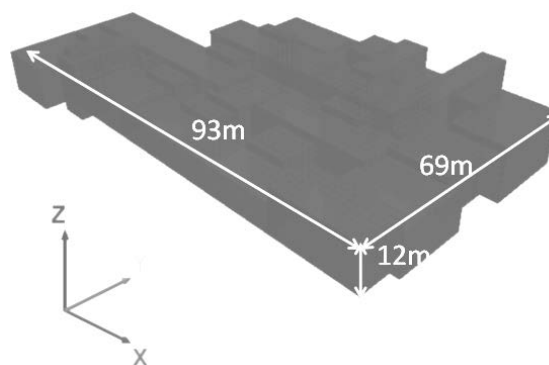


図-5 美術館の解析モデル

美術館施設を検討するために、美術館を設置する対象空間は、境界条件として、一般的な美術館内の温度環境の26℃における空気の物性値を与え、さらにそれ以外の空間には大谷石の平均温度13℃と大谷石の物性値を入力し、施設から70m離れた位置の温度を13℃に固定した最外面を設けた。この条件で、50年間の施設稼働を想定した熱伝導解析を行った。

## (2)解析結果と考察

現存する採石地下空間において、美術館を建設すると仮定し、周囲の大谷石の温度変化を施設稼働1年後から50年後の温度分布(図-6)をもとに確認した。1年後の大谷石壁体への温度変化の広がり6mとなり、50年後の大谷石壁体への温度の広がり約43mとなった。同じ地下空間を対象とした既往の研究<sup>9)</sup>にある貯蔵施設は、境界条件は本研究と同じであるが、室内温度を10℃と設定し、大谷石壁体からの温度変化の広がりを確認した。このとき50年後の大谷石壁体への温度変化の広がり約45mとなり、本研究結果と約2mの差が出た。このことから、地下施設の設定温度が、大谷石壁体に設定した温度(13℃)に近い値ほど壁体に温度が伝わりやすく、大谷石壁体に設定した温度より低い値は、壁体に温度が伝わりにくいと確認でき、温度勾配の違いによるものであると推測できる。

表-2 解析に使用した物性値<sup>34)</sup>

物性値	大谷石	空気
熱伝導率 (W/m℃)	1.074	2.427
比熱 (J/kg℃)	1508.3	1010
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1730	1.234

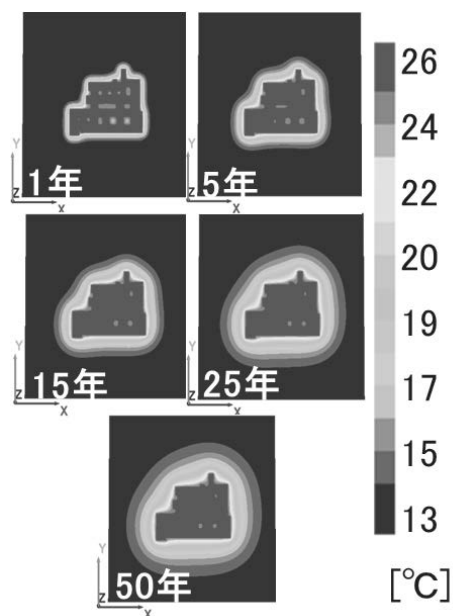


図-6 施設稼働年数ごとの温度分布 深さ7.5m地点

## 7. 地下空間の有効利用に関する検討

### (1)有効利用の検討項目<sup>6),7),8),9)</sup>

美術館の有効利用の検討するにあたり、地上施設と地下施設の環境負荷、施設運用時の電力消費量及びCO<sub>2</sub>排出量の算出を行うための検討項目を以下に示す。

- ピーク冷暖房負荷
- 日負荷
- 年負荷
- 年間冷暖房電力消費量
- 電力消費によるCO<sub>2</sub>排出量

### (2)熱通過率K値の算出

地上施設と地下施設の熱負荷を計算する際に必要となる熱通過係数K値を算出する。地下施設を建設する場合、大谷石壁体を施設壁体として直接使用するのではなく、コンクリートやモルタルの吹付、断熱材の貼り付けを行うのが一般的である。しかし、本研究は大谷石の熱特性による大谷採石地下空間内の恒温性に着目し、施設操業時の地下空間及び大谷石壁体への影響を確認し、その上で有効利用を検討するものとしたため、熱負荷計算を行うにあたり、地下施設の壁体は大谷石壁体をそのまま使用すると仮定した。K値算出には壁体を構成する材料の熱伝導率と材料厚さが必要となってくる。しかし、地下施設は大谷石壁体を施設壁体として仮定しているため、壁体厚さに決まった値が存在しない。そこで、壁体厚さを1.5mとした場合、6mとした場合、10.5mとした場合、15mとしたパターンに分け、それぞれについてK値を算出し、地下施設における各壁体厚さパターンと地上施設において検討を行う。算出した地上施設および地下施設のK値を表-3、表-4に示す。また、地上施設については、モルタル、コンクリート、断熱材で構成される壁体及び床、天井を想定し、この材料及び熱伝導率、想定した厚さを表-5に示す。

表-3 地上施設のK値

熱通過率K値(kJ/m <sup>2</sup> h℃)夏		
壁	床	天井
0.776	0.871	0.781
熱通過率K値(kJ/m <sup>2</sup> h℃)冬		
0.774	0.871	0.778

表-4 地下施設のK値

熱通過率K値(kJ/m <sup>2</sup> h℃)			
壁厚	壁	床	天井
1.5m	2.375	2.395	2.313
6m	0.631	0.633	0.627
10.5m	0.364	0.365	0.363
15m	0.256	0.256	0.255

表-5 地上における美術館の壁体及び床、天井の材料<sup>10)</sup>

材料		熱伝導率(kJ/m <sup>2</sup> h°C)	厚さ(m)
コンクリート		5.028	0.150
モルタル		5.447	0.100
断熱材	ポリウレタンフォーム (壁・天井)	0.0837	0.175
	フォームポリスチレン (床)	0.0963	0.175

### (3)美術館の検討結果と考察

美術館の熱負荷を地上施設と比較するために、夏季ピーク全冷暖房負荷、冬季ピーク全暖房負荷を算出し、図-7、8に示した。夏季ピーク冷暖房負荷に関しては、地上施設は冷房を行い、地下施設は暖房を行った。地下施設で大谷石の壁厚が異なるパターンでは、夏季は地上施設より地下施設の方が有利となる結果となった。図-7が示すように、地上施設における夏季ピーク冷房負荷の約半分以上顕熱内部負荷が占めているが、地下施設においては、顕熱内部負荷はない。これは、顕熱内部負荷は暖房の際には有利に働き、冷房の際には不利に働くので、今回は危険側を考え、暖房における顕熱内部負荷は考慮しないことにしたためである。冬季ピークの冷暖房負荷は、個々の壁厚パターンにおいて、地下施設より地上施設の方が有利となる結果を得た。結果として、ガラスの伝熱負荷と伝熱負荷、加熱加湿による負荷の3つが地上施設の中でも大きい。今回地上の美術館の壁や床、ガラスの設定値を採用して、貯蔵施設の設定例を考慮とした。

さらに、施設稼働50年後の年間冷暖房電力消費量の結果を図-9に示す。年間冷暖房電力消費量の算出における地下施設の地区修正係数には、冷房時・暖房時ともに、地下施設が最も不利になる地区の係数(冷房時=1.09(名古屋)、暖房時=1.31(旭川))を用いたが、地下空間が有利な結果となった。これは、年間冷暖房電力消費量の算出に、年間冷暖房負荷(MJ/年)の値を用いているため、それに比例して地上施設の年間冷暖房電力消費量も大きい値となったためであると考えられる。

### (4)地下空間の環境負荷におけるCO<sub>2</sub>排出量算出

数値解析から得られた施設周辺温度を用いて、熱負荷計算を行い、季節別(夏・冬)のピーク冷暖房負荷と日冷暖房負荷、年間冷暖房負荷、年間電力消費量、年間CO<sub>2</sub>排出量を算出し、同様の規模を想定した地上施設と地下施設との比較を行った。図-10にCO<sub>2</sub>排出量で整理した結果を示す。

地上施設は、夏季は外気温が33℃、施設温度が26℃であるので、美術館内を冷房する。冬季は、外気温が-3.1℃、施設温度が26℃であることから美術館内を暖房する。同様に、地下施設も夏季、冬季における大谷石壁

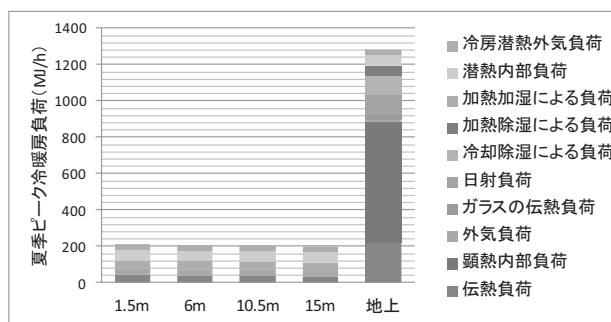


図-7 夏季ピーク全冷暖房負荷(MJ/h)

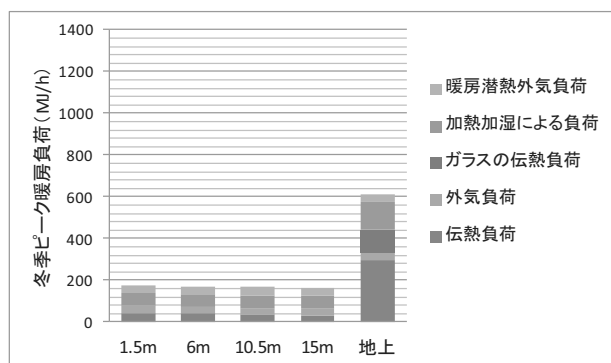


図-8 冬季全冷暖房負荷(MJ/h)

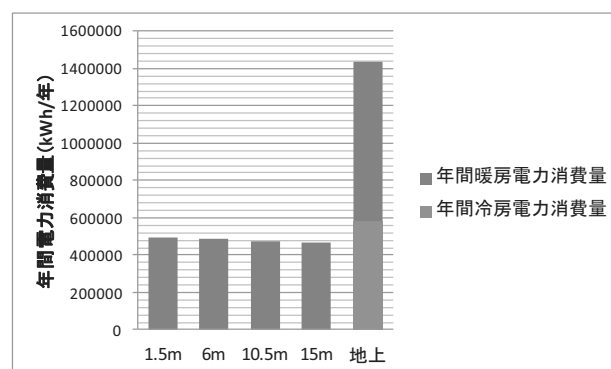


図-9 年間冷暖房電力消費量(kWh/年)

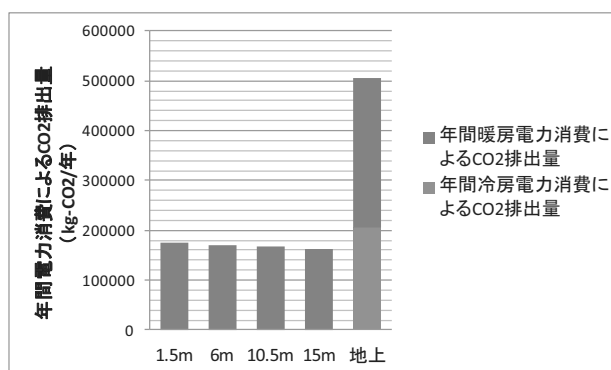


図-10 年間電力消費によるCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/年)

体の温度は13℃、11℃であり、施設温度が26℃であるため、美術館内を暖房するという方法を選択した。

結果として、大谷石壁厚からの距離における各パターンにおいても、地上施設より地下施設の方が有利となった。

地上施設における CO<sub>2</sub>排出量を 100 %とすると、最低でも大谷石壁厚 1.5 m のパターンにおいて、約 65%の CO<sub>2</sub> 排出量を削減することが可能である。

## 8. まとめ・今後の課題

### (1) まとめ

本研究では、大谷地区全体の活性化を図ることを目的としているため、大谷採石跡地下空間を有効活用するため周辺住民へアンケートを行った後、美術館を地下と地上においての運営するにあたる環境負荷の面に関して比較を行った。美術館は特に温度と湿度管理に重点を置く必要があり、温湿度管理のために 24 時間連続で空調設備を稼働させなければならないことから、この設備による負荷が施設運営に大きな影響を与えることが予想される。施設稼働 50 年後の環境負荷に関して、地下施設は最低でも約 65%の CO<sub>2</sub> を削減することができるため、環境負荷において地下施設の方が有利となる結果となった。長期的に地下施設を利用するにあたり、さらに CO<sub>2</sub> を削減することができると考えられる。

### (2) 今後の課題

本研究は、様々な地下施設が混在する大谷町の評価、さらには、地下空間を有効利用することで、大谷町の活性化を図ることを目的としている。今回は初期段階として、地下施設と地上施設の一般的な比較を行うために美術館の検討をおこなった。今後は、施設の用途を広げて、地域の有効性を検討することが課題として挙げられる。

## 参考文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター  
<http://www.jccca.org> (2013年2月 参照)
- 2) 第三特別調査室 寅澤一之：環境に配慮し、事業者と連携した地域振興～香川県直島町を例として～, [http://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rippou\\_chousa/backnumber/2012pdf/20120308091.pdf](http://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rippou_chousa/backnumber/2012pdf/20120308091.pdf) (2013年2月 参照)
- 3) 土木学会 岩盤力学委員会：熱環境下の地下岩盤施設の開発をめざして, 丸善出版社, 2006.
- 4) 国立天文台編：理科年表 机上版 第 80 冊(平成 19 年), 丸善株式会社, 2007.
- 5) 菊池 正寛, 井上達也, 清木隆文：異なる構造形式を持つ大谷採石地下空間の熱特性に基づいた長期利用可能性に関する検討, 土木学会第 40 回関東支部技術研究発表会講演概要集, CD-ROM, 2013.
- 6) 井上達也, 清木隆文, 早坂晃, 佐藤大地：環境負荷低減のための大谷採石地下空間の有効利用と維持管理の試み, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 18 巻, 土木学会, pp. 165-170, 2013.
- 7) 岡 建雄：わかりやすい グリーンオフィスの設計, オーム社出版 1991.
- 8) 空気調和・衛生工学会：空気調和設備計画設計の実務の知識(改訂 2 版), オーム社出版, 2007.
- 9) 社団法人空気調和・衛生学会, 第 12 版 空気調和・衛生工学便覧 3 空気調和設備設計篇, 財団法人 空気調和・衛生工学会出版, 1997.
- 10) 社団法人空気調和衛生工学会：建築設備集 11 展示・収蔵施設一計画・設計一, オーム社出版, 1989.