

論文

露天採掘跡地の廃棄物最終
処分場への転用可能性評価システム

齊藤 貢^{※)} 大塚 尚 寛^{※※)}
大塚 清 伸^{※※※)} 越谷 信^{※※※※)}

1. はじめに

21世紀初頭におけるわが国の重要課題の1つに、「資源循環型社会の形成」がある。すなわち、わが国が今後とも持続的に発展していくためには、廃棄物の発生抑制 (Reduce)、再使用 (Reuse)、再利用 (Recycle) の3Rを進めていくことにより、環境制約・資源制約を克服していくことが必要である。そのための法体系整備が、近年急速に進められている。しかし、産業廃棄物の総排出量は、年間約4億1,850万トン (平成18年度実績)¹⁾で近年横ばいの傾向が続いてはいるものの、廃棄物の処理、なかでも最終処分場の確保は逼迫した問題となっている。産業廃棄物は、資源循環型社会の形成を目指して、可能な限り再生利用化を行い、それが困難な場合には、縮減、最終処分するという方針となっている。再生利用量は約2億1,477万トンと増加してきたが、ここ数年間は同程度の廃棄物量約2,180万トンが最終処分されている。一方、最終処分場の受入可能な容量は、平成18年度末において産業廃棄物で1億6,286万 m^3 となっており、最終処分場残余容量は全国平均でわずかに7.5年分しかない¹⁾。現在、最終処分場の設置を予定している自治体においては、その殆どの場合において地域住民の反対運動が起り、設置を断念せざるを得ない状況にある。つまり、廃棄物処分場の残余容量が不足している最大の要因は、最終処分場の新規設置が困難なことにある。

他方、わが国で自給できる数少ない鉱産資源である碎石や石灰石は、その殆どが露天採掘により採取されており、国内には3,000箇所 (平成20年末現在) を超える採

石場が存在する。これらで採掘される年間生産量は、碎石として約2億6,816万トン²⁾、石灰石として約1億5,681万トン³⁾であり、合わせて4億トンを上回っている。岩石の単位体積重量を単純に 2.5 t/m^3 と仮定して計算すると、毎年1億6,000万 m^3 を超える埋め戻し空間が造成されていることになる。また、近年、再生骨材の使用増加に伴い碎石の生産量が減少傾向にあり、倒産や廃業により跡地処理や修復緑化を十分に実施しないまま放置された採石場も増え始めている。これらの採掘跡地を放置されたままとせず、廃棄物の最終処分場として利用できないかを検討することは、露天採掘跡地の有効利用の観点からもあると有益であると思われる。

露天採掘跡地は、通常、堅硬な岩盤であり、透水性が極めて低いことから、廃棄物の最終処分場には最適である。しかし、露天採掘跡地が廃棄物最終処分場の設置に対する物理的条件はクリアできたとしても、最終処分場設置に対する周辺住民の合意形成を得ることは容易ではない。そこで本研究では、露天採掘跡地の有効利用と廃棄物最終処分場の確保という、当面する2つの課題の解決策を見出すため、露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用可能性について、種々の地理、地質、環境、社会的条件等に関する情報を、地理情報システム (GIS: Geographic Information System) を利用してデータベース化し、これらのデータベースを基に、事業者、住民、自治体等の合意形成を含めて評価する方法として、階層化意思決定法 (AHP: Analytic Hierarchy Process)⁴⁾⁻⁵⁾の適用を試みた。さらにAHPをGISに反映させるためにBattelle法⁷⁾の概念を用いて転用可能性を評価した。

※)正会員 岩手大学工学部社会環境工学科 准教授 博士(工学)

※※)フェロー会員 会長 岩手大学工学部社会環境工学科 教授 工博

※※※)正会員 キャタピラー・ジャパン(株)

※※※※)正会員 岩手大学工学部社会環境工学科 准教授 理学博士

(2)

2. 評価方法

2.1 システムの概要

図1に露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用可能性評価システムのフローチャート、図2に各STEPの概要を示す。転用可能性評価システムは、露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用が計画されている地域において、開発最適地の決定のための意思決定を支援するシステムである。

STEP 1では、露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用に関わる多くの意思を反映させ、最終的な評価において集団的な合意を形成するために、属性の異なるいくつかのグループを参集する。転用が計画されている場合は、転用に直接関わる碎石事業者だけでなく、その地域の住民などを参集する。そして転用可能性評価に使用する評価基準の抽出を行い階層構造の設定を決定する。抽出した評価基準に対してAHPを適用し、各評価基準のウェイトを算出する^{4), 5)}。

STEP 2では、対象とする碎石場の評価対象域を設定する。そして評価対象域においてSTEP 1より抽出された評価基準の中から重要な評価基準を選定する。さらにBattelle法⁶⁾の概念を導入したモデルに、AHPにより算出されたウェイトの比率に基づいた重み係数を算出する。

STEP 3では、GISを使用しグループごとのコンセプトマップ(概念図)を作成する。コンセプトマップの作

成には各評価基準のGISデータが必要となるため、必要データの入手、あるいはデータが存在しない場合には、自らデータの構築を行う必要がある。各評価基準のGISデータ化により各データをレイヤとして扱うことができ、視覚的な評価が可能となる。そしてGISデータ化された各評価基準に0から1のスコアを与え、評価基準の正規化を行う。正規化したレイヤにSTEP 2で算出した各評価基準のウェイトの積を求め、それらをオーバーレイさせることでグループごとのコンセプトマップを作成する⁵⁾。

STEP 4では、STEP 3で作成した各グループのコンセプトマップの融合によりグループ間の合意形成を考えたコンセンサスマップ(合意形成図)を作成する。

2.2 評価項目

筆者らがこれまでに構築してきた碎石資源や環境に関するデータベース(34項目)から評価者ごとに適した評価基準を選定し意識調査を実施した。

表1に評価基準を示す。最終処分場の新規設置に伴う環境問題や社会問題などを解決するためには、どのような評価基準を重要視すべきかの意識調査を行い、露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用可能性評価に利用するための立地条件を設定しなければならない。あらゆる条件を満足する地点が適地となるが、現実的には厳しい。そのため、立地条件の中の要素を全て考慮し、どの程度まで許容されるのかを総合的に判断し立地を決定する必要がある。これらの立地条件を最も満足する地点が、転

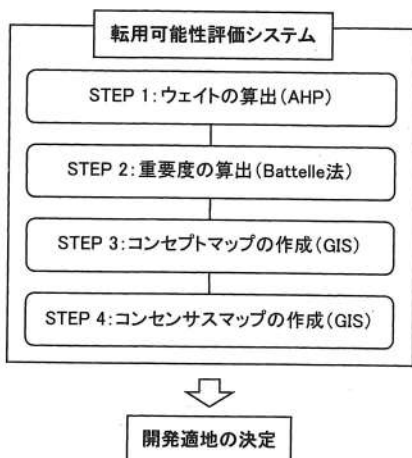


図1 転用可能性評価システムのフローチャート

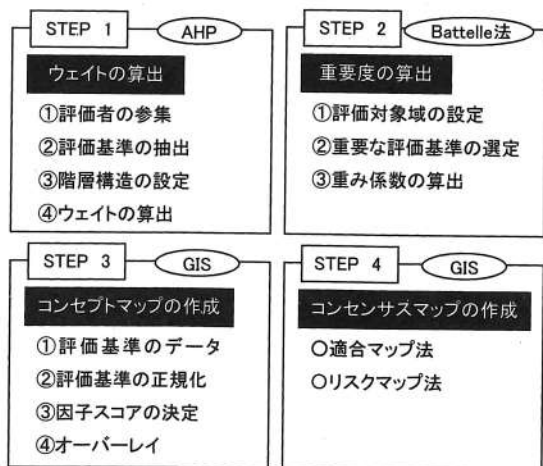


図2 各STEPの概要

表1 評価基準 (34項目)

1. 圧縮強度	13. 傾斜方向	25. 市場距離
2. 引張強度	14. 傾斜角度	26. 道路密度
3. 吸水率	15. 河川	27. 人口ポテンシャル
4. 弾性波伝播係数	16. 湖沼	28. 既開発地域
5. 透水係数	17. 降水量	29. 居住距離
6. 地下水位	18. 冬期気温	30. 可視領域
7. 地下水流	19. 積雪深	31. 植生自然度
8. 岩質	20. 法的規制区域	32. 自然景観
9. 層序	21. 保安林	33. 特定植物群落
10. 地質年代	22. 森林所有区分	34. 貴重動植物分布
11. 相対標高差	23. 文化財	
12. 地形起伏度	24. 地価	

用可能性の高い地点と判断できる。

2.2.1 岩盤性状条件

開発でまず問題となるのは、露天採掘跡地を安定型の最終処分場に転用したときに廃棄物中の有害成分が周辺環境に絶対に拡散しないことがあげられる。岩盤の質が適していなければ汚染物質が流出し、環境汚染を引き起こす恐れがある。地域や環境問題のためにも露天採掘跡地の岩盤性状、なかでも遮水性や岩盤強度などの情報は非常に重要なポイントとなる。岩盤性状条件は、圧縮強度・引張強度・吸水率・弾性波伝播速度・透水係数の5つの評価基準から構成される。

2.2.2 地下水条件

廃棄物を埋め立てる際、廃棄物中の有害成分が雨水と共に土壤中へ浸透し、地下水を介して周辺環境へ拡散することが懸念される。そこで露天採掘跡地周辺の地下水の情報をすることは、環境汚染防止のためにも非常に大切なポイントとなる。地下水条件は、地下水位・地下水流の2つの評価基準から構成される。

2.2.3 地質条件

廃棄物を埋め立てる上で地質的に適しているか、そしてどこが一番適していて、不適なところはどこなのかを知ることが、処理効率の向上につながる有益なポイントとなる。地質条件は、岩質・層序の2つの評価基準から構成される。

2.2.4 地形条件

廃棄物最終処分場として、有利な山容か、不利な山容かは処理能力や処理能率を左右する大きなポイントとなる。有利な山容とは、ある程度の処理能力、つまり規模が確保できること、適度な山腹勾配であること、景観上問題とならないことが上げられる。地形条件は、相対標高差・地形起伏度・傾斜方向・傾斜角度の4つの評価基準から構成される。

2.2.5 水系条件

露天採掘跡地を最終処分場にする場合は、周辺の自然環境、特に飲料用や作物の水源となる表流水への影響を常に考慮しなければならない。水系条件は、河川・湖沼の2つの評価基準から構成される。

2.2.6 気象条件

廃棄物の処理作業は露天作業が多くなるため、降雨や積雪、凍結、強風、日照時間などにより操業日数や作業能率に影響を受ける。気象条件は、降水量・冬期気温・積雪深の3つの評価基準から構成される。

2.2.7 開発規制条件

廃棄物最終処分場開発は、いろいろな社会的規制によって制限されているため、違法区域や開発適用範囲など調査する必要がある。開発規制条件は、法的規制区域・保安林・森林所有区分・文化財の4つの評価基準から構成される。

(4)

2.2.8 経済条件

地質や地形など自然条件が廃棄物を処理するのに有望であっても、開発を行う立地条件として適していなければ最終処分場の操業は成り立たない。立地条件の検討では需要地との関係、つまり廃棄物最終処理場を必要としている地域との距離、道路状態の把握、輸送コストなども考慮する必要がある。経済条件は、地価・市場距離・道路密度の3つの評価基準から構成される。

2.2.9 地域社会条件

廃棄物を処理する際、周辺地域住民への影響を考えなければならない。環境汚染はもちろんのこと、騒音や異臭など公害の問題もあり、その被害を周辺住民に感じさせない立地条件の選択が大切である。地域社会条件は、人口ポテンシャル・既開発地域・居住地距離・可視領域の4つの評価基準から構成される。

2.2.10 自然環境条件

廃棄物最終処分場への転用は露天採掘跡地を利用するため、森林の伐採や地形改変などの開発行為を伴う。周辺の自然環境や動植物、特に貴重な絶滅危惧種への影響を常に考慮しなければならない。自然環境条件は、植生自然度・自然景観・特定植物群落・貴重動植物分布の4つの評価基準から構成される。

3. 評価結果

3.1 ウェイトの算出(STEP 1)

本研究の評価者は、砕石事業者と一般市民の2グループとし、2005年に全国の砕石産業46事業所(砕石事業者)と岩手県在住の大学生と岩手・宮城県在住の社会人50名

(一般市民)に対して廃棄物最終処分場への転用に関する意識調査をアンケート形式で実施した⁷⁾。図3に意識調査に使用した一対比較の例を示す。

2.2 で示した評価項目ごとに構成する評価基準同士の一対比較を行い、AHPを適用し評価基準の重要度(ウェイト)を算出した。本研究において、AHPの階層図に相当する最上層のレベル1(最終目的)は『転用可能性評価』であり、レベル2(シナリオ)は『評価者』、レベル3(評価項目)は評価基準を条件別にまとめた『岩盤性状・地下水・地質・地形・水系・気象・開発規制・経済・地域社会・自然環境』の10項目、そして最下層がレベル4(評価基準)となる。

意識調査結果から算出したウェイトによると、砕石事業者は、地下水や水系、経済条件を重要視しており、特に水に関係する項目のウェイトが高く、環境に対して関心が高いことがわかった。また、経済面では、特に利潤面に深く関わってくる市場距離を重要視していることがわかった。環境に配慮する意識はとて高く、また企業としての利益も重要視していることがわかった。一方、一般市民は、地下水や水系、自然環境条件を特に重要視しており、環境への影響に関心がある結果となった。さらに、居住地距離という住まいの安全や快適性についても重要視している結果であった。砕石事業者と同様に、環境に配慮する意識はかなり高く、快適に過ごしたいという意識が伺われた。

3.2 重要度の算出(STEP 2)

本研究のシステムを検証するために、意識調査において廃棄物最終処分場への転用に積極的であると回答した



図3 意識調査に使用した一対比較の例

宮城県北部に位置する砕石場を評価対象、砕石場を中心に半径10km圏内を周辺地域として、廃棄物最終処分場への転用可能性を評価することとした。

STEP 1で抽出された評価基準から評価対象域に対して重要である評価基準を選定し、同時にデータ入手の困難な評価基準を除外した結果、砕石事業者では7項目・19基準、一般市民では4項目・14基準に細分化された。図4に対象域の階層構造を示す。

対象域の評価基準選定に伴い、STEP 1での一対比較行列を再構築しAHPによりウェイトを再算出した。そのウェイトを比率として重み係数を決定した。なお、重み係数の分配には、トップダウン式のBattelle法⁶⁾の概念を採用した。Battelle法とは、環境アセスメントの分野で用いられている解析手法で、環境インパクトの1000点を、重要度に応じて下層のカテゴリーに配分し、その点をさらに下層のコンポーネント、最下層のパラメータへと樹形状に配分して、環境トータルシステムの中で各パラメータの重要性を位置付ける手法である⁶⁾。本研究では、Battelle法の概念を適用し評価者（レベル2）ごとの合計1000点の重み係数を、評価項目（レベル3）へ配分し、さらに評価基準（レベル4）へ配分して、それぞれの評価項目と評価基準の重要度を数値化した。表2に砕石事業者、表3に一般市民の各レベルでの重み係数を示す。

3.3 コンセプトマップの作成(STEP 3)

各評価者のコンセプトマップの作成はArcGIS8.3 (ESRI JAPAN社)を使用した。各評価基準のGISデータは、筆者らが先に構築したGISデータベースと、既存資料である「東北地方の砕石山の現状に関する調査研究（宮城・福島）」⁸⁾をもとにArcGISの拡張機能であるSpatial Analystを使用して新たに作成した。またコンセプトマップの作成には、GISデータをラスタ化し各評価基準の正規化を図るため、各評価基準の因子スコアを決定した。表4に因子スコアの例を示す。

正規化した各ラスタデータ（レイヤ）とSTEP 2で算出した各評価基準の重み係数の積を求め、各レイヤをオーバーレイさせることで各評価者のコンセプトマップを作成した。図5に砕石事業者と一般市民のコンセプトマップを示す。

砕石事業者によるコンセプトマップでは、対象となる砕石場を含むセル（1km×1km）の転用可能性評価点（1000点満点）は745点となり、一般市民のコンセプトマップでは523点となった。

3.4 コンセンサスマップの作成(STEP 4)

コンセンサスマップは、適合マップ法⁵⁾とリスクマップ法⁵⁾の2通りの手法で作成した。コンセンサスマップは、それぞれの評価者の意思が反映された評価であり、それらの結果から高得点と推定されれば、対象の露

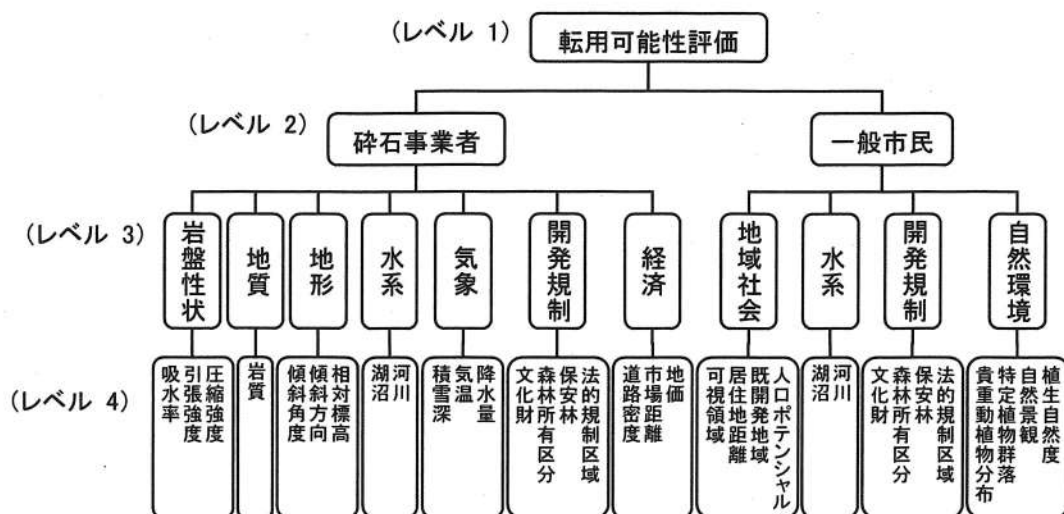


図4 対象域の階層構造

(6)

表2 砕石事業者の重み係数

レベル2	レベル3	重み係数	レベル4	重み係数
砕石事業者 (1000)	岩盤性状	138	圧縮強度	54
			引張強度	29
			吸水率	55
	地質	122	岩質	122
	地形	134	相対標高差	35
			傾斜方向	58
			傾斜角度	41
	水系	171	河川	137
			湖沼	34
	気象	76	降水量	50
			冬期気温	12
			積雪深	14
	開発規制	169	法的規制区域	82
			保安林	33
			森林所有区分	20
			文化財	34
	経済	190	地価	51
			市場距離	87
			道路密度	52

表3 一般市民の重み係数

レベル2	レベル3	重み係数	レベル4	重み係数
一般市民 (1000)	地域社会	163	人口ポテンシャル	25
			既開発規制	28
			居住地距離	72
			可視領域	38
	水系	248	河川	138
			湖沼	110
	開発規制	172	法的規制区域	43
			保安林	40
			森林所有区分	35
			文化財	54
	自然環境	417	植生自然度	76
			自然環境	69
			特定植物群落	109
			貴重動植物分布	163

表4 因子スコアの例 (地域社会)

レベル3	レベル4	正規化方法	スコア	使用関数
地域社会	人口ポテンシャル	ステップ関数	$f(x)$	0~1(等間隔分類)
	既開発地域	ランク付け	0	市街地
			0.1	緑の多い住宅地
			0.2	造成地
			0.3	工業地帯
			0.6	牧草地
			1	その他
	居住地距離	連続関数	$f(x)$	0 ($0 \leq x < 1$)
				$(1/3)\log_2(x)$ ($1 \leq x < 8$)
				1 ($8 \leq x$)
	可視領域	2 値化	0	可視領域内
			1	可視領域外

天採掘跡地は廃棄物最終処分場としてのポテンシャルリティーが高いと判断することができる。

3.4.1 適合マップ法

適合マップ法は、碎石事業者と一般市民の意思を同等、すなわち1:1とみなし、STEP 3で得られた評価者ごとのコンセプトマップのセル点数の和を1/2として表して評価する手法である。図6に適合マップ法によるコンセンサスマップを示す。

適合マップ法で作成したコンセンサスマップの転用可能性評価点は0~+1000点のスコアで算出される。対象となる碎石場を含むセルの転用可能性評価点は634点となった。

3.4.2 リスクマップ法

リスクマップ法は、開発側の立場を碎石事業者、保全側の立場を一般市民とみなし、各立場で合理的あるいは意思と合致する評価項目の総点と、不合理となる評価項目の総点との差、すなわち、それぞれの評価者に対するリスクを差し引いた形のコンセプトマップを新たに作成し、評価者ごとのコンセプトマップのセル点数の和を1/2として表して評価する手法である。図7にリスクマップ法で作成したコンセンサスマップを示す。

開発側に合致する評価項目としては、岩盤性状・地質・地形・気象・経済、保全側に合致する評価項目としては、水系・開発規制・地域社会・自然環境に分類した。リス

クマップ法で作成したコンセンサスマップの転用可能性評価点は-1000~+1000点のスコアで算出される。対象となる碎石場を含むセルの転用可能性評価点は478点となった。

4. 転用可能性評価点の検討

転用可能性評価点は開発適地を示す点数であるが、評価対象域によっては評価項目や評価基準の種類、AHPで算出したウェイトなどが変化するため一概に何点以上が適地であり、何点以下が不適地であると決定することはできない。しかし、本研究での条件に限定し、現在稼働中の最終処分場の転用可能性評価点を算出することで、転用適地かどうかの基準点数を見積もることは可能である。そこで、東北地方で稼働中の大規模な廃棄物最終処分場(5箇所)の転用可能性評価点を適合マップ法とリスクマップ法により算出し、それらの転用可能性評価点と本研究の評価対象である碎石場の転用可能性評価点を比較した。表5に各廃棄物最終処分場と評価対象の碎石場を含むセルの適合マップ法およびリスクマップ法による転用可能性評価点を示す。

適合マップ法による各廃棄物最終処分場の転用可能性評価点は500点前半から600点後半となり、平均点は642点となった。一方、リスクマップ法による転用可能性評価点は300点後半から500点前半となり、平均点は471点

(8)

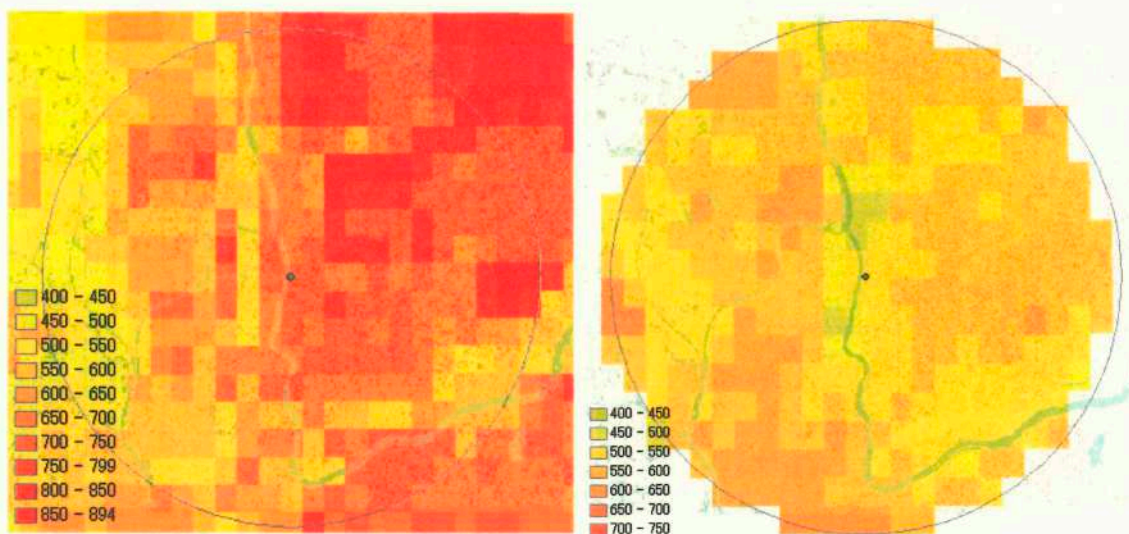


図5 コンセプトマップ (左：碎石事業者、右：一般市民)

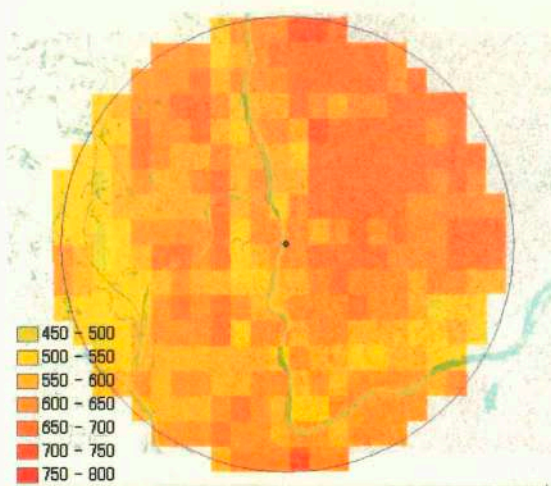


図6 コンセンサスマップ
(適合マップ法)

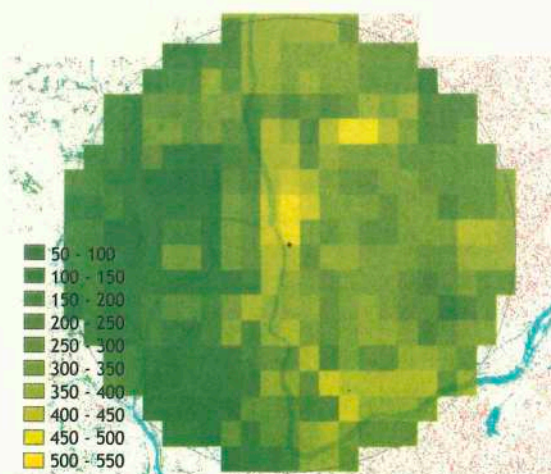


図7 コンセンサスマップ
(リスクマップ法)

表5 転用可能性評価点

稼働中の最終処分場	コンセンサスマップ (適合マップ法)	コンセンサスマップ (リスクマップ法)
A	520	370
B	681	498
C	673	486
D	659	485
E	676	519
(平均)	642	471
対象の砕石場	634	478

となった。本研究で算出した条件では、適合マップ法では600点以上、リスクマップ法では450点以上であれば概ね適地であると推測される。本研究の対象となる砕石場は適合マップ法、リスクマップ法ともにそれぞれの平均点とほぼ同等の点数を示したことから、廃棄物最終処分場への転用適地であると判断される。

5. まとめ

本研究では、環境アセスメント分野の解析法であるBattelle法的概念を用いて、AHPを導入した露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用可能性評価を行った。本研究で得られた結果をまとめると、次のとおりである。

1. AHPおよびBattelle法的概念を用いることで露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用に重要となる評価項目・評価基準の数値化が可能となった。
2. 評価者ごとのコンセプトマップの融合によるコンセンサスマップを作成することで、露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用可能性評価を行うことが可能となった。
3. AHPおよびBattelle法的概念を用いた露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用可能性評価システムを利用することにより、本研究での条件における転用可能性評価点を算出することができた。

本研究で構築した露天採掘跡地の廃棄物最終処分場への転用可能性評価システムは、砕石事業と地域環境に関わる多くの評価基準を考慮していることから、社会問題や環境問題を回避し、社会的要請と地域住民の合意形成

を定量的に評価するための開発適地抽出支援システムとしての機能を有している。しかし、本システムで使用している評価項目および評価基準は、主に地形や地質、自然環境が中心であり、現況の情報によって転用可能性評価点を算出するシステムであるため、廃棄物最終処分場への転用により評価基準の因子スコアが変化すると考えられる騒音・振動・粉じん・土壌汚染・悪臭など「公害」の項目は考慮されていない。更なるシステム向上のため、今後は現地調査を実施するなどして「公害」項目のGISデータベース化を図り、検討することが求められる。

謝 辞

本研究のアンケート調査の発送・回収に協力いただいた(社)日本砕石協会東北地方本部専務理事 高橋幸悦氏、ならびにアンケート調査に協力いただいた砕石事業者各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境省編；平成21年版 環境・循環型社会・生物多様性白書，日経印刷，pp. 175-209, (2009)
- 2) 資源エネルギー庁ホームページ；採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果（平成20年版）：
<http://www.enecho.meti.go.jp/energy/mineral/images/h20-091221.pdf>
- 3) 経済産業省ホームページ；経済産業省生産動態統計（資源・エネルギー統計）：
<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/>

(10)

result/ichiran/resourceData/07__shigen/
nenpo/03__hikinzoiku/h2dhhnm2008k.xls

- 4) 刀根 薫・眞鍋龍太郎；階層化意思決定法 AHP
事例集，日科技連，pp1-12，(2000)
- 5) 大塚尚寛・阿部拓馬・齊藤 貢；環境保全を考慮
した碎石資源ポテンシャルティー評価システムの
構築，骨材資源，pp.65-72，(2006)

6) 糸林芳彦；土木工学体系 14環境アセスメント，彰
国社，pp.19-118，(1991)

7) 同4)，pp.136-145，(2000)

8) 碎石研究会編集委員；東北地方の碎石山の現状に
関する調査研究－宮城県・福島県－，碎石研究会，
pp.6-64，(1996)

Assessment System for the Conversion Possibility of Mined-out Quarry to Final Waste Disposal Site

Mitsugu SAITO, Naohiro OTSUKA,
Kiyonobu OTSUKA, Shin KOSHIYA