

報 文

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

大塚 尚寛^{※1)} 阿部 拓馬^{※2)} 齊藤 貢^{※3)}

1. はじめに

21世紀の碎石産業は、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄という構造から脱却して、良好な環境を維持しながら持続可能な開発 (Sustainable Development) を実現することが求められる。これまでに開発された採石場は、骨材市場からの距離と賦存状態（採掘の難易と原石の質）により、立地選択されてきた¹⁾。しかし、近年の環境問題などに対応していくためには、採掘の難易と原石の質による賦存状態の把握だけでは不十分である。そのため、地域社会への影響、開発に関する規制の有無、自然環境への負荷なども資源としての賦存状態として扱い、それらを含めて総合的に判断する必要がある。そこで、それらを含めた碎石資源の『総合的な賦存状態』を、本研究では『ポテンシャルティー』と定義する。将来的な碎石産業の存続を考えた場合、地域社会や自然環境への万全な環境保全対策は、必要不可欠である。そのためには原石の性状ばかりではなく、開発に対する規制の有無、地域社会への影響、自然環境への負荷、さらには事業の経済性等を含めた多様な評価基準を取り上げて、碎石資源開発に関する総合的なポテンシャルティーを評価する必要がある。すなわち、総合的なポテンシャルティー評価を行うことによって、合理的な事業計画の策定や生産活動が効率化され、碎石事業の存続と将来的な安定供給に繋がると考えられる。

このような問題を体系的に取り扱い、課題解決に向けた検討を可能にするシステムとして、地理情報システム (G I S : Geographic Information System) が有効であると考えられる。碎石資源開発に関わる多くの評価基準は、地質や地形といった空間情報として扱うことができ、G I S ではこれらを一元的に管理・分析することが

可能である²⁾。さらに近年では、情報技術の急速な進展に伴い、空間データがインターネットなどをベースに広く流通しており、G I S を利用し易い環境が整備されている。また近年、住民参加型の開発計画が強く求められており、評価者の意思を開発計画に反映させるとともに、計画についての意思決定を支援することのできる評価システムの構築が求められている。開発における意思決定のような主観的な判断や曖昧さを含む評価を量量化することができる階層化意思決定法 (A H P : Analytic Hierarchy Process) が、意思決定を支援する上で有効であると思われる。

以上の点を踏まえて本研究では、対象課題を体系的に扱うツールとして G I S を、また評価者の意思決定を支援する手法として A H P を採用して、碎石資源開発における意思決定を効率的に支援するシステムとして、碎石資源ポテンシャルティー評価システムの構築を行った。

2. 地理情報システム (G I S) の概要

地理情報システム (G I S) は、コンピュータ上で地図を作成・保存するだけでなく、地理的に分布する情報を、「位置を表す空間情報」と「性質を表す属性情報」として管理・利用するためのシステムで、空間における様々な問題を分析することができる。

G I S がもつ基本的な機能としては、次の三点が挙げられる。

- ①データベース機能：地理情報を総合的かつ効率的に蓄積・管理する。
- ②空間解析機能：地理情報の検索、分析・解析を効率的に行う。
- ③視覚化機能：地理情報を利用目的に応じて、わかりやすく表示する。

* 1)：正会員、理事、岩手大学工学部 建設環境工学科 教授 工博

* 2)：岩手大学大学院 工学研究科博士前期課程 建設環境工学専攻（現：国土交通省東北地方整備局）

* 3)：岩手大学工学部 建設環境工学科 助手 博士（工学）

これらの機能を使用し、G I Sは様々な情報を統合し、分析して、それを表示できることから、広い視野で様々な問題を考察し、合理的な意思決定が可能となる。

本研究ではG I Sコアソフトとしては、データメンテナンスと開発効率の観点から、米国E S R I社製の「Arc View 8.3」を採用した。また、ラスターデータの作成や解析のために拡張アプリケーションである「Spatial Analyst」を使用した。

3. 階層化意思決定法(A H P)の概要

階層化意思決定法(A H P)は、主観的な判断と意思決定における階層構造を仮定することで、多くの判断基準を伴う問題を解決するために考案された方法である³⁾。A H Pを使用することで、いくつかの候補(代替

案)の中から最良のものを選択するような場合に、経験則に加えて、勘やフィーリングといった人間の主觀を取り入れて、合理的な意思決定が可能となる。

図1にA H Pの手順を示す。A H Pを使用した意思決定法の手順は次のようである。

(1) 問題は分析して階層図を描く。

A H Pを使用した意思決定のプロセスは、問題を最終目標、評価基準、代替案に分解し、図2のような階層図を構築することから始まる。階層図の一番上には、問題の最終目標を設定する。その下に、問題を解決するための評価基準を並べ、最終目標とツリー構造を設定する。

(2) 階層図の各レベルの要素を上のレベルの各要素からみて一対比較し、行列を作成する。

A H Pでは、表1のように各要素を2つずつ比較する

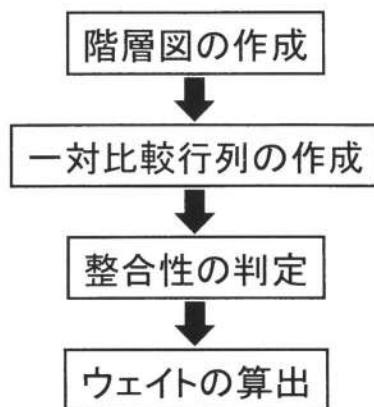


図1 A H Pの手順

表1 一対比較

	評価基準1	評価基準2	評価基準3	評価基準4
評価基準1	1	5	3	7
評価基準2	1/5	1	7	5
評価基準3	1/3	1/7	1	3
評価基準4	1/7	1/5	1/3	1

表2 一対比較行列の重要性の尺度とその定義

尺度	定義
1	同じくらい重要
3	やや重要
5	かなり重要
7	非常に重要
9	極めて重要

Level1 Eventual Goal

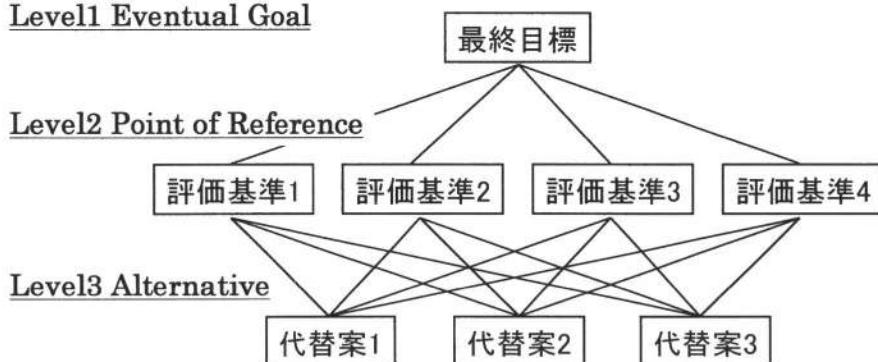


図2 A H Pにおける階層図

一对比較を行い、ウェイトを決定する。ここで各一对比較値は、表2に示す「一对比較行列の重要性の尺度とその定義」に従い設定する。

- (3) 各一对比較行列で、要素のウェイト、整合度(CI)をAHPの理論により計算する。CIが大きすぎる場合は、(2)の比較判断を再検討する。
- (4) 一对比較の結果からウェイトを合成し、最終目的からみた代替案の総合ウェイトを求める。
代替案の総合ウェイトWは、(1)式のように表すことができる。

$$W = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{bmatrix} \times W_1 + \cdots + \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{bmatrix} \times W_n \quad (1)$$

P_i : 評価基準からみた代替案のウェイト ($\sum_{i=1}^m P_i = 1$)
 W_j : 評価基準のウェイト ($\sum_{j=1}^n W_j = 1$)

4. 碎石資源ポテンシャル評価手法

図3に本研究で構築した碎石資源ポテンシャル評価システムのフローを示す。碎石資源ポテンシャル評価システムは、碎石生産を行う上で必要な全ての要件を満たす最適地を抽出する際の意思決定を支援するシステムである。

図4に、各STEPの概要を示す。

4. 1 STEP 1

STEP 1では、碎石資源ポテンシャル評価に使用する評価基準の抽出を行う。

はじめに、評価を行う評価者を参集する。評価者は碎石業者、地域住民などの属性を異なる人々を参集する。属性の異なる人々を参集することで、最終的なポテンシャル評価では、集団的な同意を得ることができると考えられる。今回は、碎石業者と一般市民を対象としてアンケートによる意識調査を行った。

4. 2 STEP 2

STEP 2では、STEP 1で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。

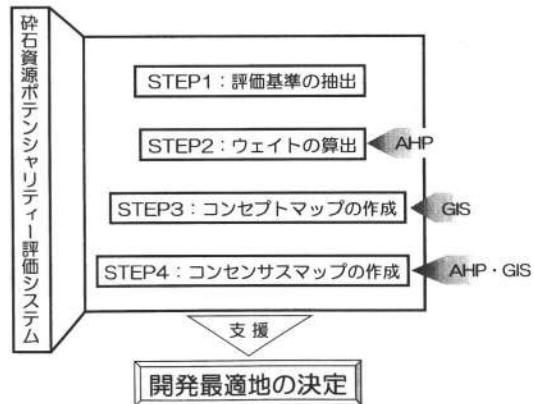


図3 碎石資源ポテンシャル評価のフロー

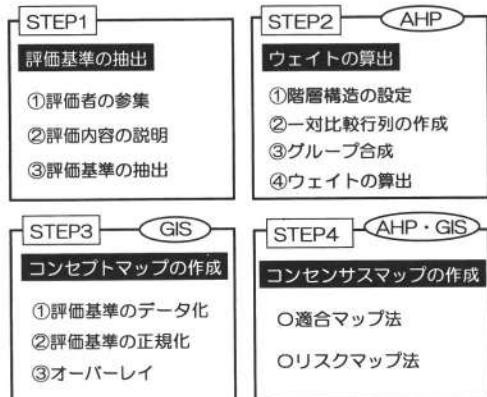


図4 各ステップの概要

階層図を作成し、それに従い一对比較行列を作成する。作成した一对比較行列を各グループ内で合成してウェイトを算出する。合成したグループ一对比較行列の整合性をCIで判定する。このようにして各評価基準のウェイトは、グループごとに算出される。

4. 3 STEP 3

STEP 3では、GISを使用してグループ毎のコンセプトマップ(構想図)を作成する。GISを使用してコンセプトマップを作成する際には、予め各評価基準をGISデータ化しておく。GISデータ化された評価基準のスケールがデータによって異なっており、各評価基準を同一のスケールで扱うために、以下に示す方法によって各評価基準に0~1のスコアを与えて評価基準の正規化を行う。

(68)

- ①2値化：適・不適または可・不可のように、0または1でスコアを配分する方法。
- ②ステップ関数：ある一定の区間において、同一のスコアを配分する方法。
- ③連続関数：一次関数、二次関数、指數関数などの連続した関数を利用して、スコアを0～1の範囲内で配分する方法。
- ④ランク付け：個別の属性に応じて適当なスコアを配分する方法。

正規化したレイヤにSTEP2で算出した各評価基準のウェイトの積を求め、これらをオーバーレイさせていくことで、グループごとのコンセプトマップを作成する。

図5にオーバーレイの概念図を示す。その際出力されるレイヤは0～1のスコアで表されるが、コンセプトマップは有効数字を考慮し、0～100のスコアに換算した。

4.4 STEP4

STEP4では、STEP3で作成した各グループのコンセプトマップ（合意形成図）を使用し、最終的な合意形成であるコンセンサスマップを作成する。

コンセンサスマップは、以下の2通りの作成方法が考えられる。これらの方針はどちらも一長一短があり、計画の性質に応じて使い分けることが必要である。

（1）適合マップ法

各コンセプトマップを一定の比率で足し合わせる方法。

適合マップ法では、全てのコンセプトマップを同じレベ

ルで扱うことができ、各グループ間の合意形成に有効である。しかし、ポテンシャルティの高い地域が開発可能な地域とならなかつたり、ポテンシャルティの低い地域が保全を必要とする地域とならなかつたりする可能性がある。

（2）リスクマップ法

コンセプトマップを開発と保全の2つに分けてそれぞれに対するリスクマップを作成し、一方から他方のリスクを取り除く方法。リスクマップ法では、ポテンシャルティと開発可能性または保全の必要性が一致し、感覚（視覚）的評価と評価結果が一致する。しかし、リスクマップを作成する段階で、コンセプトマップのレベルを1つ下げる必要になるので、開発側と保全側のグループ比率によっては有効な合意形成とならない可能性がある。

5. 碎石資源ポテンシャルティ評価

5.1 碎石資源ポテンシャルティの評価概要 (STEP1)

本研究では、碎石業者と一般市民へのアンケートにより、碎石資源開発に関する意識調査を実施した。碎石業者に対するアンケートは、東北地方の碎石業関係者46団体について実施した。一般市民に対するアンケートは、盛岡市民50名について実施した。

表3に評価基準として採用した29個の項目を示す。

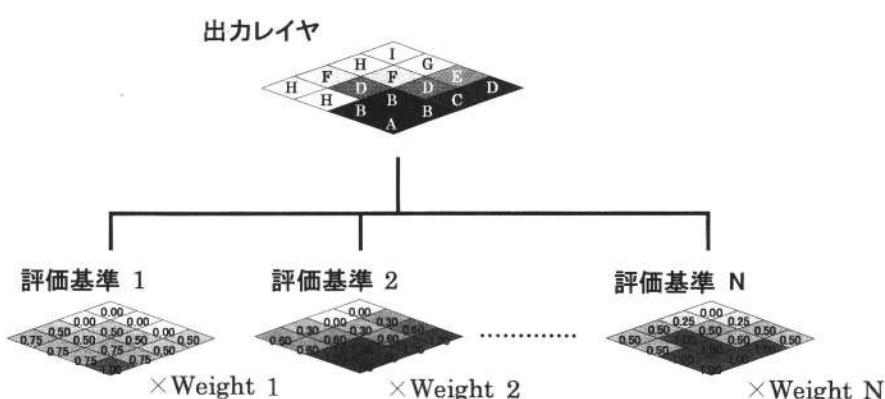


図5 オーバーレイの概念図

表3 評価基準として採用した項目

No.	データ名	No.	データ名	No.	データ名
1	地質	11	植生自然度	21	可視領域
2	絶乾比重	12	特定植物群落	22	市場距離
3	吸水率	13	自然景観	23	開発可能半径
4	圧縮強度	14	河川	24	地価
5	岩石硬度	15	既開発地域	25	人口ポテンシャル
6	相対的標高差	16	居住地距離	26	法的規制区域
7	平均標高	17	降水量	27	文化財
8	最大傾斜角度	18	積雪深	28	保安林
9	傾斜方向	19	冬期気温	29	森林所有区分
10	自然地形	20	道路密度		

5. 2 ウエイトの算出 (STEP 2)

AHPを使用して碎石資源ポテンシャルを評価する際に、3層からなる階層構造を仮定した。

図6に階層図を示す。レベル1は碎石資源ポテンシャルを評価するという最終目的であり、レベル2では一对比較の簡略化のために、各評価基準を、資源、地形、気象、地域、自然、経済、社会の7つの項目に区分した。レベル3には各評価基準を置いている。

表4に碎石業者、表5に一般市民に対する意識調査結果から算出したウェイトを示す。表をみると、碎石業者が資源や経済といった条件を重視しており、一般市民は自然や社会といった条件を重視しているという意識の差が明らかになった。

5. 3 コンセプトマップの作成 (STEP 3)

図7に宮城県における碎石業者のコンセプトマップを示す。本研究のポテンシャル評価では、碎石が主に県単位で生産・消費されていることやG I Sデータを

表4 碎石業者に対する意識調査結果から算出したウエイト

レベル1	レベル2	ウェイト	レベル3	ウェイト
碎石業者	資源	0.23	地質	0.13
			絶乾比重	0.24
	地形	0.14	吸水率	0.23
			圧縮強度	0.23
	気象	0.04	岩石かたさ	0.17
			標高差	0.32
	経済	0.20	平均標高	0.07
			傾斜角度	0.34
	地域	0.12	傾斜方向	0.10
			自然地形	0.17
	自然	0.14	降水量	0.24
			積雪深	0.55
	社会	0.13	冬期気温	0.21
			道路密度	0.11
			市場距離	0.23
			開発可能地域	0.27
			地価	0.17
			人口ポテンシャル	0.22
			既開発地域	0.31
			可視領域	0.20
			居住地距離	0.49
			植生自然度	0.20
			特定植物群落	0.28
			自然景観	0.25
			河川	0.27
			法的規制区域	0.32
			文化財	0.31
			保安林	0.23
			森林所有区分	0.14

構築する際のデータが県単位で供給されていることに加えて、計算処理の効率化を考慮して、県単位で評価を行った。なお、ポテンシャルは、東西×南北1kmのグリッドデータで評価した。また、コンセプトマップのポテンシャルは、0~1000のスコアで算出した。

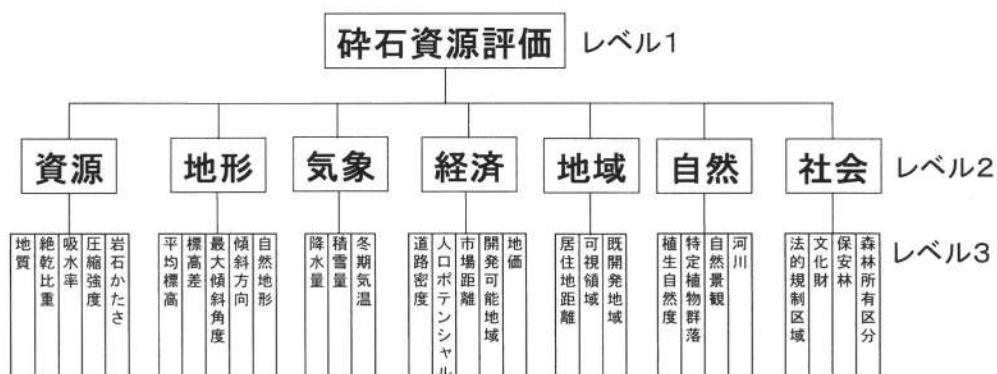


図6 碎石資源ポテンシャル評価の階層図

表5 一般市民に対する意識調査結果から算出したウエイト

レベル1	レベル2	ウェイト	レベル3	ウェイト
一般市民	資源	0.11	地質	0.23
			絶乾比	0.15
			吸水率	0.23
			圧縮強度	0.19
			岩石かたさ	0.20
	地形	0.09	標高差	0.27
			平均標高	0.19
			傾斜角度	0.17
			傾斜方向	0.15
			自然地形	0.22
	気象	0.10	降水量	0.49
			積雪深	0.27
			冬期気温	0.24
	経済	0.06	道路密度	0.15
			市場距離	0.21
			開発可能地域	0.27
			地価	0.19
	地域	0.18	人口ボテンシャル	0.18
			既開発地域	0.29
			可視領域	0.21
			居住地距離	0.50
	自然	0.25	植生自然度	0.16
			特定植物群落	0.34
			自然景観	0.14
			河川	0.36
	社会	0.21	法的規制区域	0.30
			文化財	0.28
			保安林	0.25
			森林所有区分	0.17

評価結果は、ポテンシャルの高い地域から低い地域へ暖色から寒色で表現した。このコンセプトマップのスコアが高い地域は、碎石資源開発に対するポテンシャルが高く、開発に適すると評価された地域となる。

図8と図9に東北地方における碎石業者と一般市民のコンセプトマップを示す。東北地方を表示する際には、

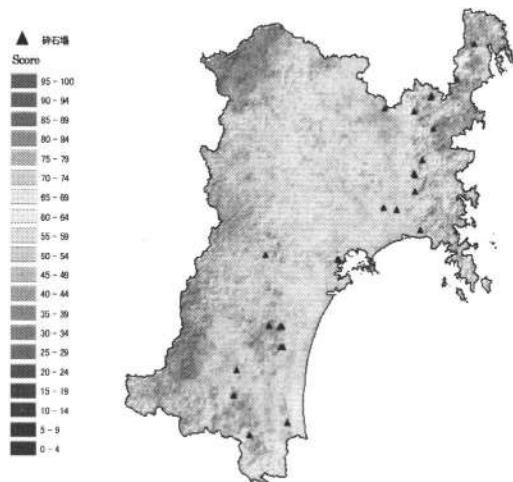


図7 碎石業者のコンセプトマップ（宮城県）

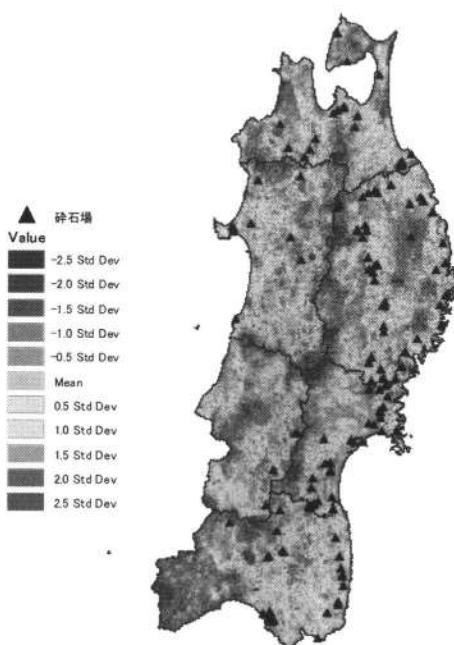


図8 碎石業者のコンセプトマップ（東北地方）

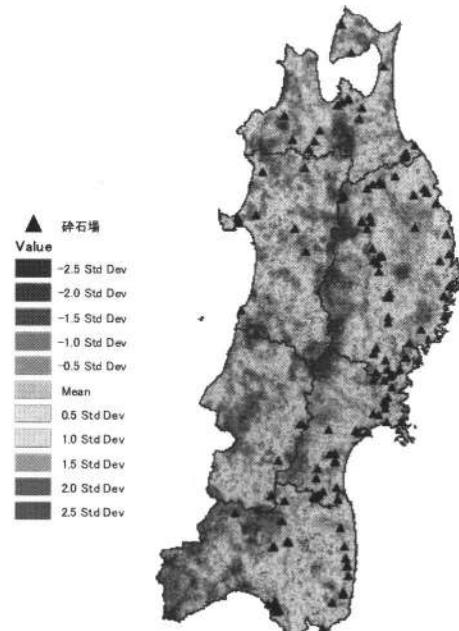


図9 一般市民のコンセプトマップ（東北地方）

評価結果を平均値からのはらつきで表現した。これは、各県のスコアがその県内における相対的なスコアであり、東北地方全体を包括するような絶対的な基準でないためである。図よりポテンシャルティの相対的な空間分布は、碎石業者と一般市民で大きな差がない傾向を示しているといえる。

5.4 コンセンサスマップの作成 (STEP 4)

図10、図11に、適合マップ法とリスクマップ法で作成した宮城県のコンセンサスマップを示す。ここで、適合マップ法のウェイト比は1:1とした。適合マップ法によるコンセンサスマップのポテンシャルティは、0~100のスコアで算出した。また、リスクマップ法では、開発行為に対するリスクマップを作成し、碎石業者のコンセプトマップからそのリスクを差し引くことでポテンシャルティを算出した。その際に使用したリスクマップは、一般市民のコンセプトマップの評価基準を-100~0のスコアに置き換えたものである。つまり、一般市民のコンセプトマップにおいて、スコア0の開発不適とされた地域を最高のリスクである-100とし、スコア100で最適とされた地域をリスクなしの0としたものが、リスクマップとなっている。そのため、碎石業者のコンセプトマップからリスクを差し引くという考え方のリスクマップ法では、コンセンサスマップのスコアは-100~100で算

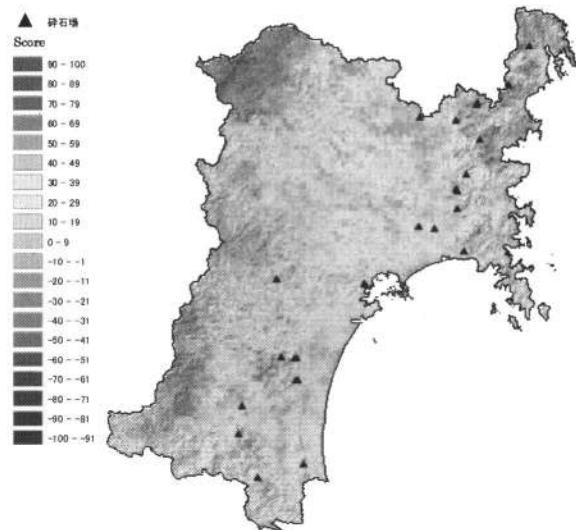


図11 リスクマップ法を用いたコンセンサスマップ（宮城県）

出される。

図12、図13に、適合マップ法とリスクマップ法で作成した東北地方のコンセンサスマップを示す。この結果は、碎石業者と一般市民の両者の意思が反映された結果であ

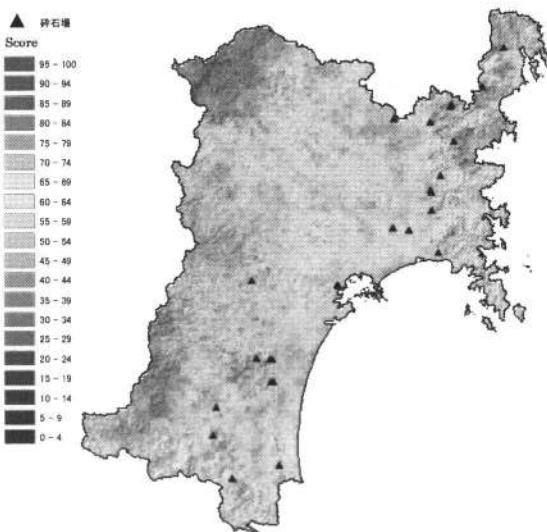


図10 適合マップ法を用いたコンセンサスマップ（宮城県）

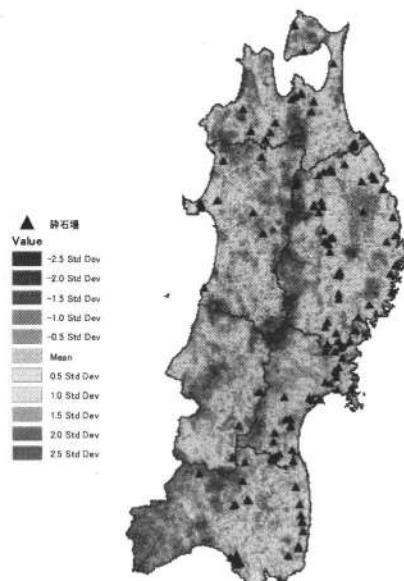


図12 適合マップ法を用いたコンセンサスマップ（東北地方）

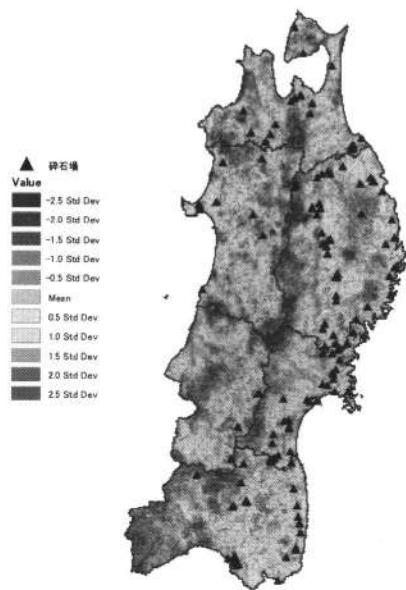


図13 リスクマップ法を用いたコンセンサスマップ（東北地方）

り、これら2つの評価結果によってポテンシャルティーが高いと判断された地域で碎石資源開発が行われることが望ましいということができる。

6. まとめ

本研究では、AHPを適用した碎石資源ポテンシャルティー評価システムの構築を行った。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) 碎石資源ポテンシャルティー評価システムを構築したことにより、環境保全を考慮した碎石資源開発

に対するポテンシャルティーを、1kmメッシュで定量的に把握することが可能となった。

- (2) AHPを使用することで、碎石資源開発に関わる意思決定を、より効率的に支援することができるようになった。
- (3) アンケート調査の結果から、それぞれの評価基準を比較することで、碎石資源開発における碎石業者と一般市民の意識の差を把握することができた。
- (4) 碎石生産のように環境に直接影響を及ぼす開発においては、異なる評価基準を持つ集団の同意を形成する際に、AHPを適用した空間決定支援システムが有効であることが明らかとなった。

本研究で構築した碎石資源ポテンシャルティー評価システムは、環境保全項目までをも含めた多くの評価基準を考慮してポテンシャルティーを評価することができるところから、碎石事業を展開する上での意思決定支援システムとして有効に機能することが期待される。また、碎石業者や地域住民等の当事者の開発に対するリスクをあらかじめ評価しておくことで、社会問題や環境問題などを回避することができ、効率的な事業展開が可能になると考えられる。今後、碎石資源ポテンシャルティー評価システムの利用価値を高めるためには、構築したデータベースを更新していくことや、新たな碎石業者に関するデータベースを追加すること、碎石生産に関する情報を共有していくことなどが必要である。そのため環境への負荷の少ない産業構造の確立と、より良い環境の創造に向けて、地域住民、事業者、行政など役割に応じた主体的な取組みが求められる。

参考文献

- 1) 神頭広好：都市と地域の立地論－立地モデルの理論と応用－, pp.27-28, (2001), 古今書院
- 2) 張長平：地理情報システムを用いた空間データ分析, pp.11-18, (2001), 古今書院
- 3) 刀根薰・眞鍋龍太郎：階層化意思決定法 AHP事例集, pp.1-218, (2000), 日科技連

Considering The Environmental Conservation for The Development Possibility

OHTSUKA Naohiro, ABE Takuma,
SAITO Mitsugu