

論 文

景観を考慮した露天採掘場の開発計画立案システムの構築

外 薗 貴 彦 ^(*)
 志 田 寛 ^(***) 大 塚 尚 寛 ^(***)
 齊 藤 貢 ^(****)

1. はじめに

日本の将来の在り方としてIT(Information Technology)立国を目指す政府は、「e-Japan」なる戦略を打ち出し、重要な柱の一つとして電子政府・電子自治体の実現を掲げ、2001年から積極的に予算を投入してきた。これによって、様々な分野で電子申請や電子納品が可能になってきたが、露天採掘場が関係する岩石採取や林地開発に係る許認可申請の添付図面も、将来の適用に向け、コンピュータで図面を作成するよう指導されるようになってきている。そのため、露天採掘場を操業する企業は、否応なくコンピュータシステムの導入または図面の電子化を図らなくてはならず、システムの販売や電子化の代行業務を引き受ける業者も徐々に増えている。

露天採掘場を対象としたコンピュータシステムは、米国、カナダ、オーストラリア等の大規模な鉱山向けに開発されたマイニングソフトウェアが、その代表として位置付けられる¹⁾。これらのソフトウェアは、当初、オペレーションズリサーチ手法を駆使した鉱山開発前のプロジェクト評価・フィージビリティスタディを行うために開発されたが、実際には採掘計画の立案・管理を含め、資源開発プロジェクトで多面的に利用でき、多彩な機能で構成された大規模なシステムとなっている。そのため、システムの導入や更新には多額の投資が必要であり、また複雑な操作の習得にも時間とコストが掛るなど、小規模の露天採掘場には、導入が困難なシステムである。

一方、中・小規模の石灰石鉱山や採石場の多い我が国

の実情に合わせて、1980年代半ば頃からパソコン用のシステム開発が進められてきた。システム開発の当初は原石山開発に当って、重機編成を検討するための原石量算出等を主な目的としていたが、パソコンの高機能化と利用環境の向上に伴い、現在では詳細な採掘・盛土計画の立案から許認可申請用添付図面の出力、景観図の作成まで行えるようになっている²⁾。

景観図作成機能は、元来は平面図を読むことに慣れていない相手に説明することを想定して付加されたものであるが、3次元地形モデルを用いて設計を行うというシステムの特徴から、手間を掛けずに景観図が作成できる。この機能が、昨今の住民の景観に対する意識の高まりや、景観法制定といった法制化を受け、景観評価への利用、さらには景観を考慮した計画立案へのフィードバックが期待されるようになってきた。この流れに合せ、他の地形処理システムも景観図作成機能が強化され、また新たなシステムも開発されるようになったが、現状では景観を考慮した計画立案手法が確立されておらず、利用方法が不明確であることから、十分活用されているとはい難い。

このような背景をもとに、本研究では、露天採掘場の景観を考慮した開発計画立案手法の確立を目指して、岩石採取シミュレーションシステムをベースに、バーチャル・リアリティ・システム(VRS:Virtual Reality System)と地理情報システム(GIS:Geographic Information System)を併用したシステムの構築を行った。

*) 正会員：新キャタピラー三菱株式会社主任（岩手大学大学院 工学研究科博士後期課程 生産開発工学専攻 在学）

**)：正会員 理事 岩手大学工学部建設環境工学科 教授 工博

***：岩手大学工学部建設環境工学科 技術職員

****：岩手大学工学部建設環境工学科 助手 博士（工学）

2. 利用システムの概要

本研究では、技術的に確立された既存システムを利用することで、信頼性のある成果を得ると同時に、開発にかかる時間とコストを抑えることを念頭に置いた。ここでは、利用した既存システムの概要について述べる。

2. 1. 岩石採取シミュレーションソフトの概要

岩石採取シミュレーションソフトとしては、新キャピラー三菱（株）社製『Site Craft』を用いた。本システムは、碎石・鉱山に携わる技術者向けに開発されたものであり、露天採掘場を対象とした CAD (Computer Aided Design) システムである。本システムの主な機能は、次の通りである。

- ①不等三角網による精度の高い現況地形モデルの作成。
- ②地層の厚さを定義したモデルからの地層モデルの作成。
- ③階段採掘法による詳細な採掘・盛土計画の立案。
- ④採掘量・盛土量・面積の算出。
- ⑤各種許認可申請図面の作成・出力。

⑥景観図・アニメーションの作成・出力。

本システムの特徴は、市販の汎用 CAD である米国ベントレー社製『Micro Station』のアドオンソフトとして開発されていることである。このことは、外部環境の変化による恩恵を少ない負担で受けられることを意味しており、日進月歩であるパソコンの能力を低ランニングコストで利用し続けられる大きなメリットがある。また汎用 CAD 自身や他のアドオンソフトが持つ機能も全て使用することができ、図面の仕上げ作業など使い方次第で、システムの利用価値を向上させることができる。

近年では、測量コストの低減を狙った技術開発が盛んであり、デジタル写真測量や GPS(Global Positioning System) 測量、レーザ測量など現場や用途に応じて使い分けることで、これら新技術の恩恵を享受することができる^{3) 4) 5)}。

図1に、『Site Craft』による採掘計画立案の流れを示す。

2. 2. VRS の概要

Virtual Reality とは、「仮想現実感」と訳されるが、コンピュータによって創り出した仮想空間において、人間が現実であるかのように体感できることを意味している。よって VRS とは、この仮想現実感を追求するシステムであり、実際に体験することが難しい宇宙における活動訓練や、未開発物の事前評価実験、アミューズメント分野での利用が進んでいる。

本研究では VRS として、(株) フォーラムエイト社製『UC-win/Road』を用いた。本システムは、視覚に特化したものであり、3次元空間をモデリングし、気象条件・日時を設定することで、実世界を模した空間を創り出すことができ、道路を中心とした構造物などの事前確認・評価に利用されている。本システムの特徴は次の通りである。

- ①国土地理院発行の50mメッシュ数値地図を基本地形情報とし、対象となる付近を CAD で作成した詳細地形

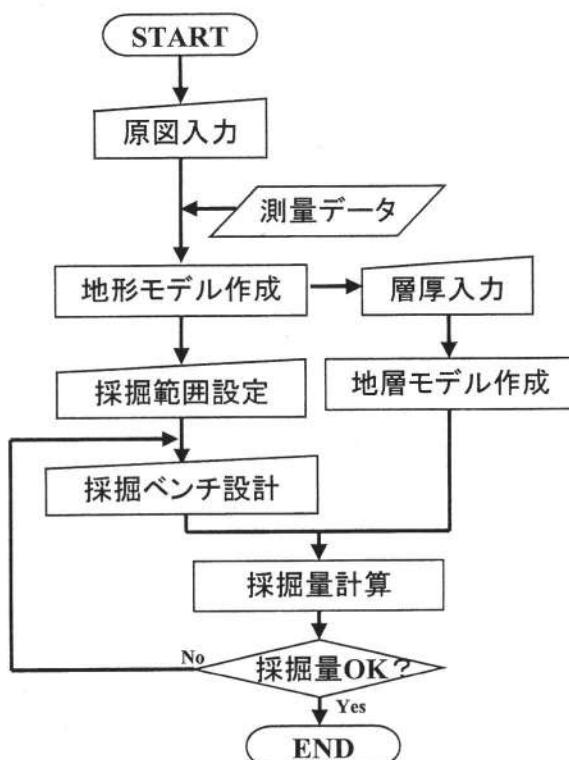


図1 『Site Craft』による採掘計画立案の流れ

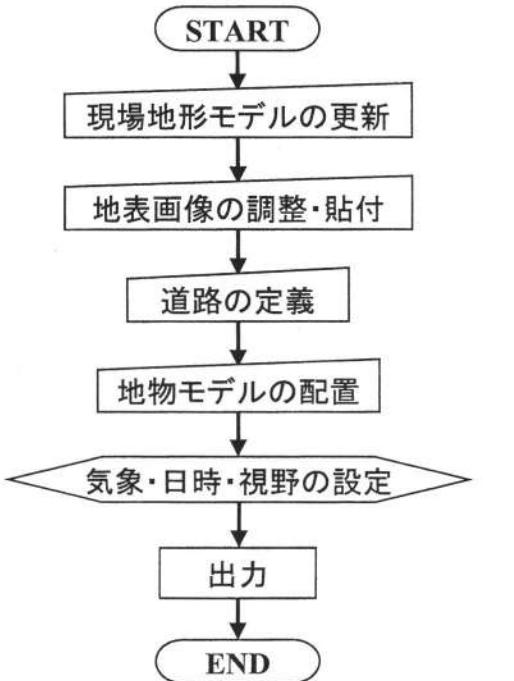


図2 VRSによる景観シミュレーション作成の流れ

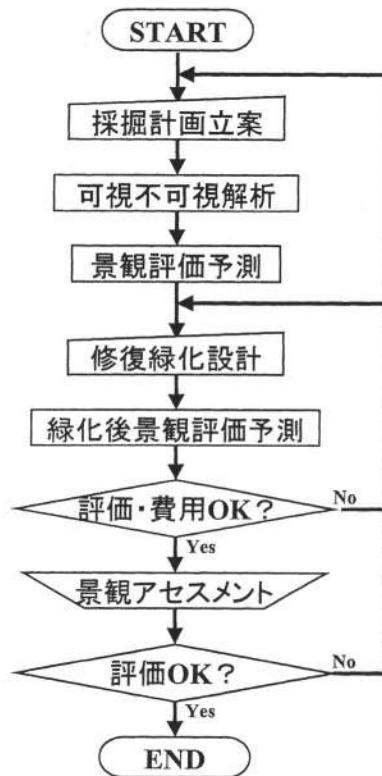


図3 景観を考慮した開発計画立案の流れ

- モデルに更新することができる。
②航空写真や衛星写真画像を対象付近の地形モデルに貼り付けることができる。
③道路の平面位置・縦横断形状を定義することで、走行シミュレーションアニメーションを作成できる。
④建物や樹木、電柱のような道路占有物などの3次元物体をモデル内に配置し、写真画像をテクスチャマッピングすることができる。

本研究では、景観評価実験のための変化刺激として景観シミュレーションを作成するために、本システムを利用した。図2は、VRSを用いた景観シミュレーション作成の流れである。

2. 3. GISの概要

GIS（地理情報システム）とは、地図情報などの幾何图形と属性情報が格納されたデータベースで構成され、それらを一元的に管理するシステムである。よって図面とそれに付随する何らかの情報が存在するものには全て適用可能であり、地下埋設物やプラントなどの設備管理、出店計画やマーケティングなどの意思決定、カーナビゲ

ーションシステムなどに利用事例が多い。

本研究ではGISとして、米国ESRI社製『Arc View』を用いた。本システムの主な機能は、次の通りである。
①任意の縮尺で地図を表示させ、移動や回転表示もできる。また地図の重ね合わせ表示や属性情報によって色分けした主題図表示も可能である。
②属性情報による適合リストの抽出や位置の検索ができる。図形情報や属性情報のアップデートも可能である。
③距離や属性によって領域化するバッファ機能、地形解析、適地を探すマップ演算などの解析機能がある。

本研究では、対象となる露天採掘場の可視不可視解析や景観評価尺度値を予測するために、本システムを利用した。

3. 開発計画の立案

これまで採掘計画立案の際には、売上げ・利益に結び付く原石の賦存状態や採掘量、コストとなる表土処理や

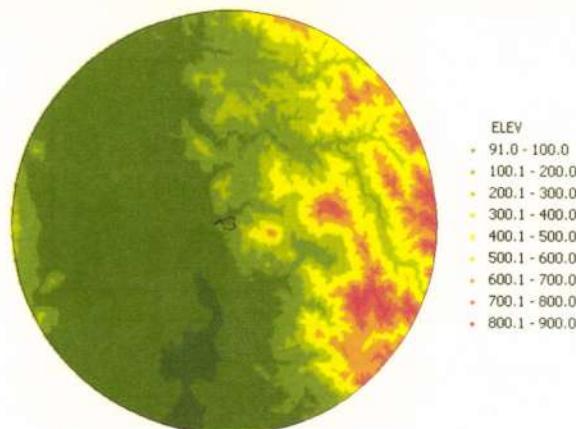


図4 地形標高ラスターデータ
(出典:国土地理院発行50mメッシュ数値地図)



図5 地形データによる可視領域分布図

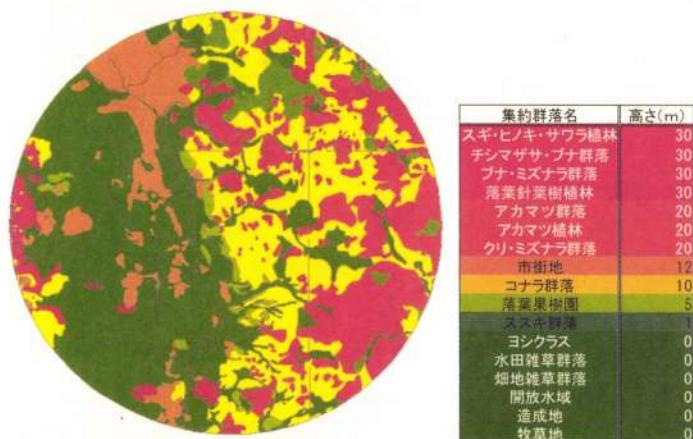


図6 植生分布図および集約群落による設定高さ



図7 植生を考慮した可視領域分布図

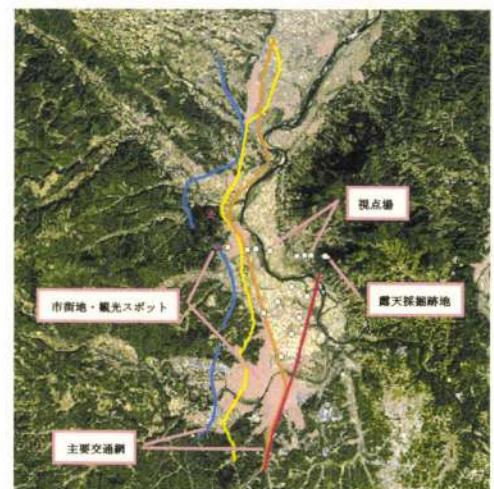


図8 実験に用いた露天採掘跡地と
視点場の位置関係

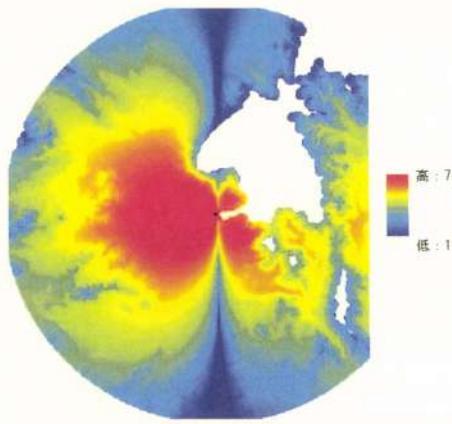


図10 景観規定要因を用いた景観評価予測図

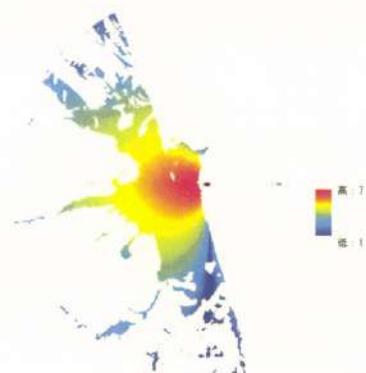


図11 可視領域を考慮した景観評価予測図

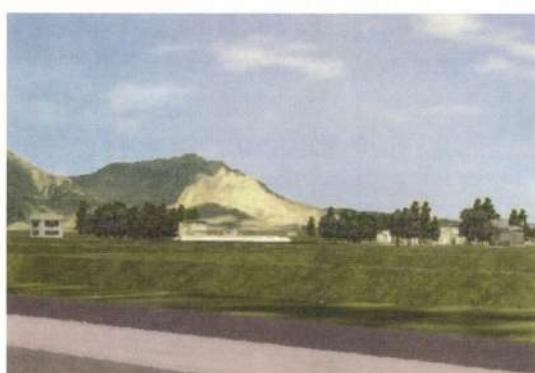


図13 VRS を用いて作成した景観シミュレーション画像

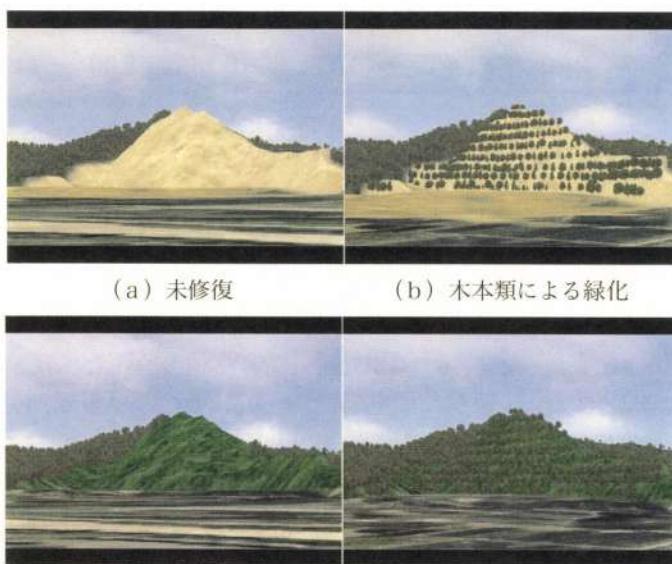


図15 未修復および修復緑化した4つ状態の景観予測

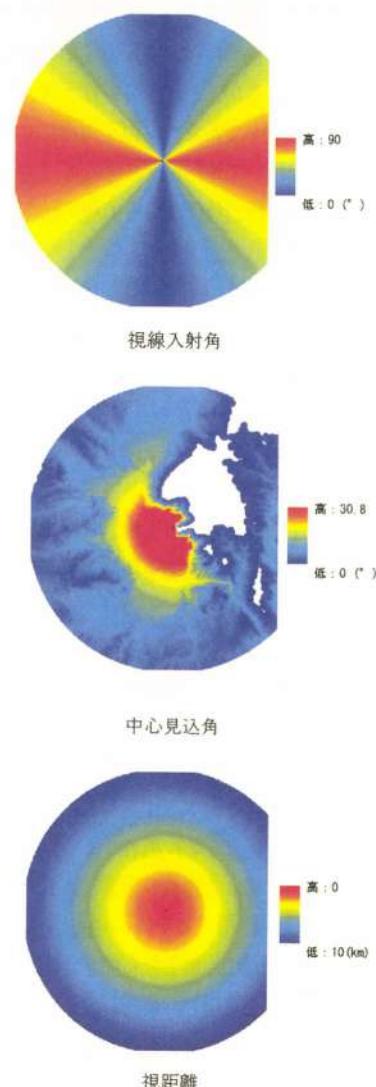


図9 景観規定要因のラスター表示

原石運搬、安全な作業や斜面の安定性といった安全性の問題を勘案してきた。しかし修復緑化施工も純粋にコストとなることから、採掘計画と緑化計画を合せて考え、効率のよい開発計画とすべきである。そこで本研究では、修復緑化計画も含めた開発計画を立案できるシステムの構築を目指した。

図3に、本研究で検討した景観を考慮した露天採掘場の開発計画立案の流れを示す。

3. 1. 可視不可視解析

露天採掘場が周辺地域のどこから見え、どこから見えないかを明らかにすることは、景観を扱う上で最も基本的な問題である⁶⁾。

可視不可視解析は、GISの地形解析機能を用いて行うことができるが、基になるのはラスターデータ形式の地形標高データである。可視不可視は、各ポイントの標高データを用いて地形モデルとなる三角形網を作り、視点位置から目標点位置までを直線で結んだ時に、途中で三角形で囲まれた面すなわち地形と交差するか否かで判定を行う⁷⁾。この判定を、対象領域内を限なく視点位置を移動させながら行うことで、可視不可視分布図を作成することができる。

図4は露天採掘場を中心とした10km圏内の地形標高ラスターデータであり、図5は地形データによる可視領域分布図である。事例として取り上げた当該露天採掘場は、岩手県盛岡市の市街地近郊に位置する県内屈指の碎石場であり、その立地条件から景観上問題視されることが懸念されている。

本研究ではさらに解析精度を上げるため、景観遮蔽物の影響を加味した。地形データによる可視不可視分布図では、標高データのみを用いて解析を行っているが、実際に露天採掘場を眺望する際には、地形だけではなく地表上に存在する樹木や建物などが遮蔽物となり見えなくなる（不可視となる）場合がある。特に露天採掘場近郊では、樹木による遮蔽の影響が大きい。そこで環境省の生物多様性情報システムの中にある自然環境情報GISの植生図を元に、植生分布図を作成し、その樹種分類から平均樹高を算出し、集約群落ごとの高さとして設定した。図6に植生分布図および集約群落ごとの設定高さを示す。そして地形標高ラスターデータに植生分布図に従った集約群落ごとの高さを加算し、このラスターデータ

をもとに可視不可視解析を行った。

図7は植生を考慮した可視領域分布図である。植生を考慮することによって、虫食い状に不可視領域が点在し、可視領域は明らかに減少した。これによってより実際に近い可視領域予測が可能になった。

3. 2. 景観評価予測

景観に対する価値判断は主観的なものであり、人によって評価が異なることはやむを得ない。しかし計量心理学的手法で得られる平均的な人間にとっての評価を考えた場合、景観を規定するいくつかの客観的指標と相関があると想定される。

そこで露天採掘跡地を14の視点場から撮影した景観写真を用いて、1：「全く気にならない」から7：「非常に気になる」の7段階のカテゴリーで評価してもらう評定尺度法による景観評価実験を行った。図8に露天採掘跡地と視点場の位置関係を示す。事例として取り上げた当該露天採掘場は岩手県の平泉に在り、観光名所となっている毛越寺などからの景観を阻害するとして問題視されている。本事例で得られた評価と各視点場から露天採掘跡地までの視距離、仰角、視線入射角、中心見込角、垂直見込角、水平見込角、立体角（標準見え面積）の7つの要因⁸⁾との関係について変数増減法による重回帰分析⁹⁾を行った結果、3つの要因を説明変数とした（1）式が得られた。

$$y = 1.63\log x_1 + 1.32\log x_2 - 0.183x_3 + 2.09 \quad (1)$$

y：景観評価予測尺度値

x_1 ：視線入射角 [°]

x_2 ：中心見込角 [°]

x_3 ：視距離 [km]

視線入射角と中心見込角をlogで表した（1）式は、決定係数 $R^2=0.814$ と非常に高い相関性を示した。

図9は、説明変数として選択された視線入射角、中心見込角、視距離をGISで計算し、ラスター表示させたものである。各要因について説明する。

- ①視線入射角：視線入射角とは、視線が対象の広がり（面）となす水平方向の角度であり、対象の見やすさと奥行感、立体感を表す指標として用いられる。視線入射角が90°の場合、被験者は採掘場の採掘面と正対す

るため最も見やすく、これが小さくなるにしたがって対象は見にくくなる。

②中心見込角：中心見込角とは、採掘場の中心を見上げる場合の視線の水平に対する角度をいう。

③視距離：視距離とは、視点から対象までの水平距離であり、対象の見え方を左右する要因の一つである。

図10は、重回帰分析によって得られたウェイトを適用し、景観規定要因により予測される景観評価尺度図である。前述の可視領域分布図と景観評価予測図とを重ね合せることにより、露天採掘場が見えるいずれの地点の評

価予測も可能となる。図11は、可視領域と景観評価予測図をオーバーレイしたラスター図である。

さらに、道路地図などと重ね表示することによって、景観上問題となりやすい視点場を特定でき、採掘計画の練り直しの指針ともなる。また今後は、他の景観規定要因として修復緑化の程度を盛り込むことによって緑化計画の評価予測へ拡張する一方、検証を重ね評価予測精度を向上させることによって、よりよい参考指標とする必要がある。

3. 景観アセスメント

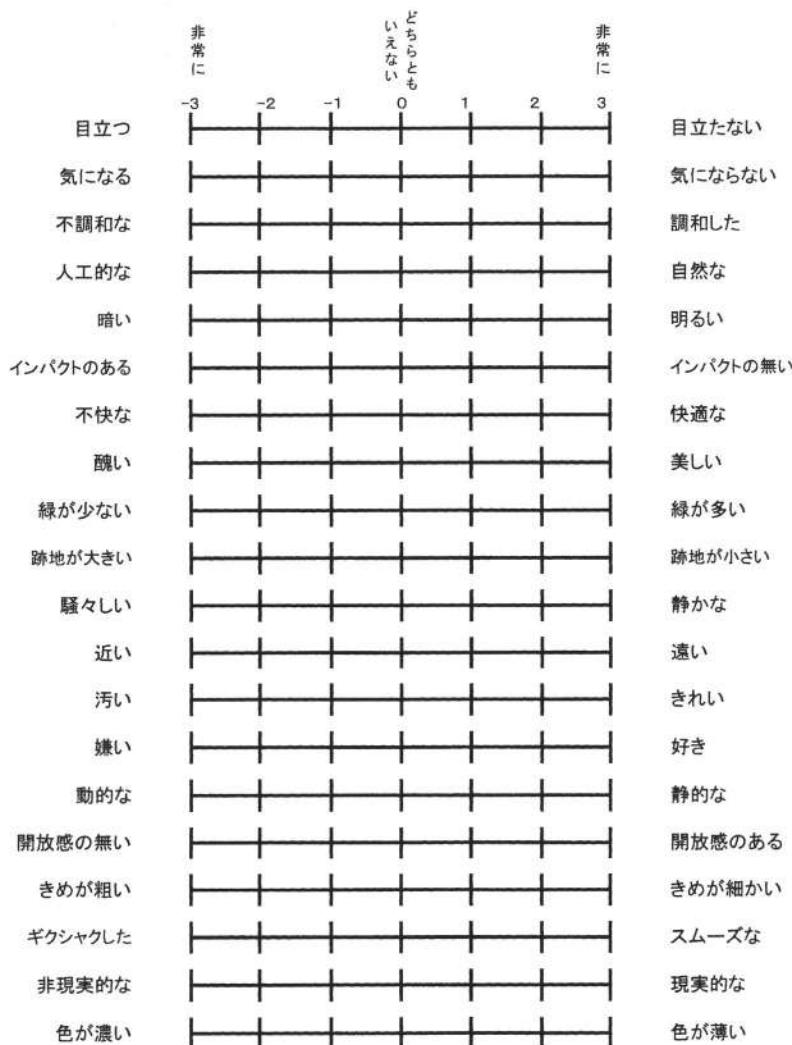


図12 SD法に用いる評定用紙

景観評価予測により景観に配慮した開発計画を立案しても、地域住民や監督官庁と合理的な合意を得るためにには、やはり第3者による景観評価は重要な要素となる。

景観評価は視覚的印象の評価であり、人間の感性や快適性に係る問題である。従って、刺激の強度によって一義的に評価することはできず、また視覚に対する情報量は多過ぎるために、未だ定量化の手法は明確になっていない¹⁰⁾。そのため計量心理学的手法を用いて統計的に処理することにより、平均的人間の価値観を客観的評価として扱わざるえない¹¹⁾。

ここでは、露天採掘場を対象とした景観評価手法について述べる。

3. 3. 1. 評価手法

評価手法はSD(Semantic Differential)法が推奨される。SD法はさまざまな対象のイメージを測定する代表的な心理測定法であり、意識・意味・情緒を分析するものである¹²⁾。

景観評価実験は、約15～20対の形容詞対に対して、「どちらともいえない」を中心とした7段階程度の評定尺度を設定して行う。これまでの評価因子に関する研究で、変化刺激を動画とした場合には「周囲との調和性」、「美観性」、静止画とした場合には「美観性」、「緑化の質感」が抽出されている^{13) 14)}。よって形容詞対を選ぶ際には、これらの因子に係るものを中心とし、残りの形容詞対は対象とする露天採掘場ごとに問題視されそうな項目や一般的項目を選定する。

図12は、SD法に用いる評定用紙の例である。

3. 3. 2. 視点場の選定

露天採掘場の景観が問題視されるのは、われわれの生活環境に存在するためである。よってその景観を目にするのは、基本的に自動車や列車での移動中の場合が多く、視点場としては交通量の多い道路上が妥当であろう。

景観上、問題となる可能性が高いのは、静止画としては視距離が1～3 km、仰角が10°前後であり、動画としては近距離景で採掘跡地が正面に見える場合となっている^{15) 16)}。これらを鑑み、複数の視点場を選定すべきである。

3. 3. 3. 変化刺激の作成

選定された視点場によって、変化刺激には動画と静止画の2種類が考えられる。本来、対象が移動中に視認されるのであれば、動画とするのが妥当である。しかし、ある視距離以上になると動画としての「動き」が感じられなくなり、静止画による評価と違いがなくなることが、筆者らの以前の研究で明らかになっている¹⁷⁾。複数の変化刺激による評価実験を考えると、静止画の方が実施し易く、視点場によっては静止画を適用すべきである。

変化刺激の作成に当っては、開発計画の詳細を3次元モデルに盛り込めてこと、視点場を任意に選定できることなどからVRSを用いる方法が優れている。

図13は、VRSを用いて作成した露天採掘場の景観シミュレーション画像の例である。本事例の露天採掘場は、岩手県八幡平市に位置し、採掘面前方に地形の起伏がないため遠方より視認可能であり、景観上問題視されることが懸念されている。

3. 3. 4. 変化刺激の呈示方法

変化刺激の呈示方法には、パソコンのモニターへ表示する方法とプロジェクタを用いてスクリーンへ投影する

方法がある。動画を変化刺激とする場合には、露天採掘場の実際の視角すなわち「見えの大きさ」¹⁸⁾を考慮し、スクリーンへ投影するのが望ましく、静止画を変化刺激とする場合には、パソコンモニターへ表示するのが望ましいことが筆者らの研究で判明している¹⁹⁾。そしてスクリーン投影する場合は、被験者の着席位置によって見え方があまり変わらないように一度に5～6人ずつ、モニター表示する場合には1人ずつ実験を行い、評定してもらう。

複数の変化刺激を用いて実験を行う場合、呈示の順序が評価に影響を及ぼす可能性がある。被験者はそれぞれ過去の経験から何らかの基準を持って相対的に変化刺激を評価しており²⁰⁾、それが直前に呈示されたものを基準とした比較評価となることも十分考えられるからである。したがって、変化刺激をランダムに配列して呈示したり、また同じ実験内で変化刺激を異なる呈示順序に配列して2回評価してもらうなどの工夫をすべきである。

3. 3. 5. 被験者

測定の方法が統計処理による平均的人間の評価であるならば、評価主体である被験者は、一般に様々な属性の人が大勢いることが望ましい。しかし、専門家は評価するための細かい基準をもっており、安定した厳しい評価が期待できる一方、一般人は採点基準がよくわからず、評価が甘く、ばらつく傾向は否めない²¹⁾。したがって、一般人の評価よりも厳しくなることを前提に、景観の専門家や自然保護団体、露天採掘場関係者、資源関係の工学部学生などが被験者として妥当であると考えられる。

筆者らは先に、信頼性の高い景観評価結果を得るために必要な被験者数について調べるために、岩手大学工学部建設環境工学科の学生を対象とした実験を行った。その結果、資源開発や環境工学に関する専門教育を受けた学生を対象とした場合には、概ね30名程度の被験者で安定した評価が得られることが明らかとなった²²⁾。ただし、評価の外れ値は被験者数が少ないのでその存在が全体に及ぼす影響が大きいため、3シグマ方式などを用いて厳密に除外する必要がある。

また注意すべきは、利害関係者を被験者から除くことである。地域住民や対象となる露天採掘場関係者は、意図的な評価となることが懸念され、客觀性に疑問が生じてくる。開発の影響を受ける地域住民の意見や意識は大

切にすべきであるが、協議の場で取り上げることとし、客観的評価測定に組み込むべきではない。

3. 3. 6. 評価判定

景観評価とは、前述の通り人間の感性による評価であり、快適性に係る問題である。「快適」とは、「快」という積極的に好ましい状態と、「適」という不快な刺激がない状態に区別する考え方があり、自然環境の保全を目的とする露天採掘場の景観問題にとっては、まずは「適」を目指すことが重要である²³⁾。

本研究で用いたSD法においても、対になった形容詞は景観上の「快」－「不快」状態を表しており、評価の中心である「どちらともいえない」が「適」の基準となる。よって評価実験後に、景観を評価する上で適切な評価項目ではなかったと考察される項目を除き、残り全ての項目が「適」基準をクリアしていることが評価の判定

結果の一つと考えられる。

図14は、SD法による景観評価結果の例である。本事例では、露天採掘場の採掘跡地において、採掘面が未修復の状態、木本類による緑化を施した状態、草本類による緑化を施した状態、木本類+草本類による緑化を施した4つ状態の景観予測を行い、変化刺激を作成して評価実験を行った。結果としては、草本類による緑化を施すことによって、景観上は「適」基準に達していることがわかる。図15は、本事例に用いた4つの状態の変化刺激であり、3. 3. 3. の事例と同じ露天採掘場である。

4. システム化に期待される効果

いかなる開発行為であれ、本来は環境に対する影響を考慮すべきであり、修復改善のコストを開発計画に盛り込むべきである。実際に、これまでも費用の多少はあっ

ても、修復改善にコストが発生してきた。露天採掘場においても、さまざまな公害防止対策に経費が嵩んでおり、既に経営上第一の問題となっている²⁴⁾。

景観問題は、環境保全の指標として捉えられる向きがあることから、採掘跡地の修復緑化施工による対策が以前から行われてきた。しかし環境に社会的関心が集まる昨今、修復コスト増加が懸念され、さらに必要以上に環境破壊のイメージを与える裸地化された景観は、資源確保という経営上深刻な問題を引き起こしている²⁵⁾。

これらの問題は、立場によって景観に対する認識にバラツキがあり、社会的コンセンサスが得られていないことに起因していると考えられる。そしてそれは取りも直さず、景観評価手法が確立されておらず、評価に客観性・合理性が乏しいからにはほかならない。

本研究の成果であるシステム化は、景観を考慮した露天採掘場の

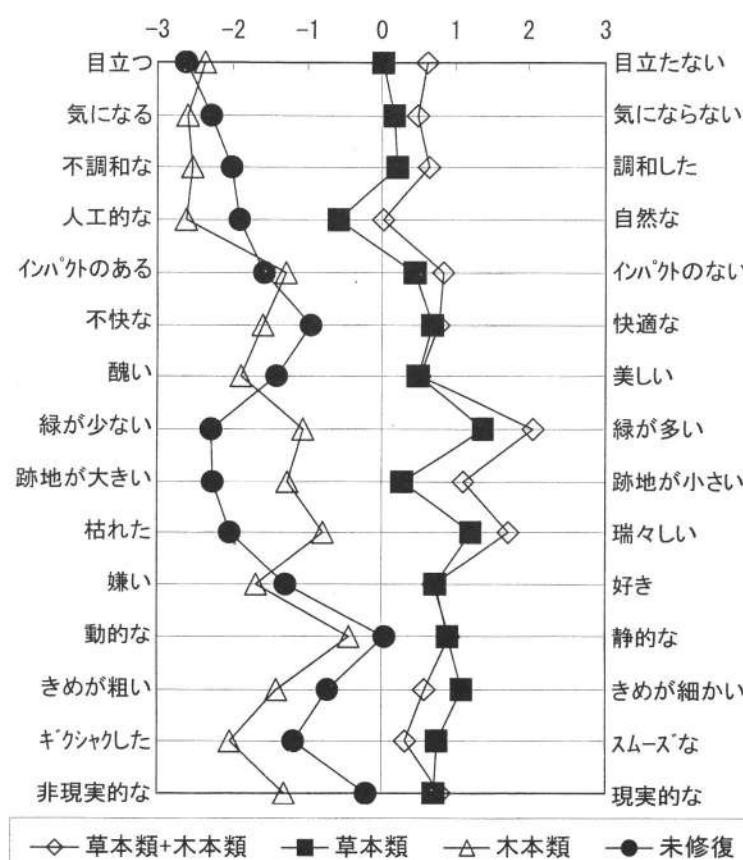


図14 SD法による景観評価結果

開発計画立案手法の基準を明確にすると同時に、再現性を確保し、精度や品質のバラツキを抑えた評価・設計を可能にする効果がある。また景観評価の結果に社会的コンセンサスが得られるならば、切望されている少ない経費でより景観修復効果の高い緑化の設計に活かせると同時に、採掘計画にまでフィードバックすることで、抜本的なコスト削減に資することが期待される。

5.まとめ

本研究では、露天採掘場の景観を考慮した開発計画立案手法の確立を目指し、システム化の検討を行った。得られた成果をまとめると、次のとおりである。

- (1) 地表上に存在する景観遮蔽物を考慮した可視不可視解析を行うことにより、より精度の高い可視領域分布図の作成が可能になった。
- (2) 景観規定要因を用いた重回帰式により、景観評価尺度値を精度良く予測することが可能になった。
- (3) (1) の可視領域分布図と景観評価予測図とを重ね合せることにより、露天採掘場が見えるいずれの地点の評価予測も可能となった。

今後の課題としては、景観規定要因として緑化に係る物理量を組み入れた景観評価予測を行うことや、景観評価結果を総合的かつ定量的に判定するための快適指標を作ることなどがあるが、本研究の成果は、計画立案手法確立のための指針になるものと確信する。

また、修復緑化コストまでを含めて開発コストとして捉え、リーズナブルな採掘計画・盛土計画・緑化計画が設計できるシステムへと発展させるよう今後取組みたい。

さらに本研究の成果が、露天採掘場開発の一助となれば幸いである。

最後に、本研究に協力された岩手大学大学院工学研究科建設環境工学専攻伊藤誠氏（現（株）ネクスト）に感謝の意を表する。また、本研究の一部は平成14～15年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究（C）（2）（課題番号14550869）により行われたことを付記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 小野直樹、入江彰二郎：骨材資源、140（2004）、p. 229-

- 2) 斎藤敏行、林竹治、外薗貴彦、木村慎治：骨材資源、119（1998）、p. 182-185
- 3) 今村達平、土居原健、内田修：骨材資源、119（1998）、p. 158-181
- 4) 今井忠男、古住光正、鴨志田直人、杉本文男、山崎貴博、大塚尚寛：骨材資源、146（2005）、p. 71-77
- 5) 山口博義：骨材資源、148（2006）、p. 220-223
- 6) 大塚尚寛、関本善則：建設用原材料、Vol. 6, No. 2（1996）、p. 1-6
- 7) 樋口忠彦：景観の構造、p. 12-15、（1975）、技報堂出版
- 8) 篠原修編・景観デザイン研究会著：景観用語事典、p. 44-49, p. 54-55、（1998）、彰国社
- 9) 田中豊、垂水共之：統計解析ハンドブック 多変量解析、p. 30-36、（1995）、共立出版
- 10) 鈴木浩明：快適さを測る、p. 46-53、（1999）、日本出版サービス
- 11) 日本まちづくり協会編：景観工学、p. 11-12、（2001）、理工図書
- 12) 前出11)、p. 51-54
- 13) 大塚尚寛、関本善則、齊藤貢、鎌田武：資源と素材、113（1997）、p. 543-547
- 14) 外薗貴彦、大塚尚寛、志田寛、齊藤貢：資源素材学会秋季大会講演集 2006 資源開発、p. 109-110
- 15) 大塚尚寛：骨材資源、128（2001）、p. 337-342
- 16) 外薗貴彦、大塚尚寛、齊藤貢、志田寛：資源と素材、122（2006）、p. 113-118
- 17) 外薗貴彦、大塚尚寛、志田寛、齊藤貢：資源素材学会春季大会講演集 2006（I）資源編、p. 141-142
- 18) 前出8)、p. 48-49
- 19) 外薗貴彦、大塚尚寛、志田寛、齊藤貢：資源と素材、122（2006）、（掲載予定）
- 20) 前出10)、p. 76-82
- 21) 前出20)
- 22) 前出19)
- 23) 前出10)、p. 3-6
- 24) 秋本勲：資源と素材、110（1994）、p. 1017-1022
- 25) 前出15)