

砕石資源開発と景観シミュレーション

DEVELOPMENT OF CRUSHED STONE RESOURCES AND COMPUTER SIMULATION OF LANDSCAPE

大塚 尚寛*・関本 善則**

by Naohiro OTSUKA and Yoshinori SEKIMOTO

1. はじめに

砕石用原石はそのほとんどが露天採掘されており、開発の大規模化に伴って種々の環境問題が派生してきている^{1) 2)}。特に近年では、自然保護や環境保全に対する地域住民の関心の高まりや、地方自治体における景観条例制定の動きとも併せて、景観問題は操業上の重要課題となっている。採掘後裸地化した跡地は、周囲の景観を阻害し景観上問題となるばかりでなく、砕石業イコール自然破壊産業というイメージを必要以上に与えている。したがって、開発計画の段階で採掘に伴う景観変化を予測、評価し、景観保持を考慮した採掘を行うための景観工学的検討が必要となってきている^{3) 4)}。

一方近年、パーソナルコンピュータの高速・大容量化、グラフィック機能の高度化等ハードウェアの飛躍的な性能向上と、画像処理関連の各種ソフトウェアの開発等が長足の進歩を遂げている。これに伴って、パソコンによる画像処理技術を利用して、採掘進展に伴う跡地の変化予測や修復緑化状況のシミュレーションを行い、景観予測や評価に利用されるようになってきている^{5) 6)}。

本報では、砕石資源開発における環境問題を概観し、露天採掘における景観シミュレーションの手法と応用例を紹介するとともに、採掘に伴う景観変化の予測、評価方法について述べる。

2. 砕石業における環境問題

わが国における環境問題の歴史を振り返ると、次の3期に区分される場合が多い⁷⁾。

第1期 産業発展の時代 (明治30年～昭和40年)

第2期 公害の時代 (昭和40年～昭和60年)

第3期 環境の時代 (昭和60年～)

砕石業における環境問題の歴史もほぼこれに対応している。すなわち、第1期では骨材用資材の主体が河川砂利であり、昭和38年に河川法および砂利採取法等により河川砂利の採取規制が実施されたのと前後して、砕石産業が発展期を迎えた。第2期になると、高度経済成長、

日本列島改造等の建設ブームを背景として、砕石生産量は飛躍的に増大した。しかし、採取場周辺では粉じん、騒音、振動、ダンプ走向等の砕石業における公害問題がクローズアップされるようになった。第3期になると、自然保護や地球環境保全等の環境に対する社会意識の向上に伴って、砕石業においても森林伐採、景観阻害等の環境保全問題が重要な課題となってきている。

砕石業における環境問題としては、次のような事項が挙げられる。

(1) 生活環境への影響

- ①騒音
- ②振動
- ③粉じん
- ④水質汚濁
- ⑤ダンプ公害
- ⑥微気象 (風向・風速) 変化
- ⑦その他

(2) 自然環境への影響

- ①森林伐採・表土除去・岩盤露出……自然破壊
- ②動植物の生態系分断
- ③落石、崩壊、地すべり……防災上の問題
- ④河川汚濁
- ⑤景観破壊
- ⑥その他

生活環境への影響に関する事項では、採石法や公害関係法等の法的規制があるため、かなり改善されつつある。しかし、自然環境への影響に関する事項では、開発前に事前に検討すべき事項も多いため、十分な対応が行われているとは言い難い現状にある。特にこれらの事項は、環境保全意識の高まり等を背景とした新規原石山確保の困難化にもつながる問題であり、真剣な取り組みが必要と考える。

3. 景観予測法の概要

ここで対象とする景観とは、露天採掘によって跡地が出現したときに、採掘前と比べ「環境のながめ」がどのように変化するかを、調査・予測・評価するものである。

図1は、景観の調査・予測方法を示したものである。調査・予測方法は、可視解析、定量的解析、視覚的解析の3つに大別される。調査・予測ではまず第一に、露天

* 岩手大学工学部 建設環境工学科 助教授

(〒020 盛岡市上田4丁目3-5)

** 同 教授

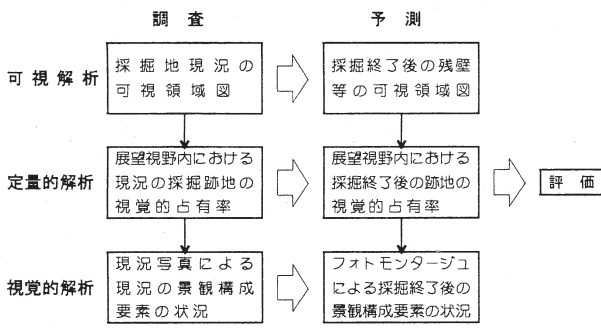


図1 景観調査・予測方法

探掘地が眺望地点から見えるか見えないか、すなわち、可視不可視領域を判定する可視解析が基本となる。次に、探掘地が見える場合、どの程度見えるかという見えの大きさ(量)を扱う定量的解析が必要である。さらに、探掘地がどのように見えるかという見えの状況(質)を扱う視覚的解析が必要である。

表1 各解析 表1 景観予測手法一覧

において、土木、建築の分野でよく使われる手法⁸⁾をまとめたものである。

可視解析	地形断面図
	可視領域図
定量的解析	視覚解析
	視覚的占有率
視覚的解析	模型
	コンピュータグラフィックス
	フォトモンタージュ

可視解析には、地形断面図と可視領域図による方法

がある。地形断面図による方法は、最も簡易な予測手法である。すなわち、探掘予定地内の点Pと眺望地点Qとを結んだ直線で地形断面図を作成し、線分PQを遮る地形があれば、跡地が見えない(不可視)と判定する。なお、点Pは探掘予定地内の最も高い地点を選定する。可視領域図による方法は、探掘跡地がどこから見えるかを判定するものであるが、具体的内容は5節で詳述する。

定量的解析には、視覚解析と視覚的占有率を求める方法がある。視覚解析では、眺望地点からの探掘跡地の見えの大きさを、視覚の指標となる俯角、仰角、水平角および視認距離等を測定することによって景観の変化を予測する。視覚的占有率による方法では、眺望地点からの視野全体に占める跡地の割合を求め、その変化を予測する。なお、筆者らが行ったこれまでの定量的解析の結果によれば、景観評価の最も重要な要因としては、跡地の見えの高さが上げられる。

視覚的解析は、模型、コンピュータグラフィックス、フォトモンタージュ等を用いて、見えの状況(質)を被験者に評価してもらう方法である。模型による方法では、探掘跡地だけの模型でも内部景観の雰囲気把握できるし、眺望地点を含んだ周辺地域全体の模型を作成すれば、模型上で予測のための写真を撮ることもできる。しかし、

模型作成に時間を要することとスケール感で問題がある。コンピュータグラフィックスによる方法は、原理的には、数値地形モデルによって描くもので、透視図の一種であるが、その内容は後述する。フォトモンタージュ法は、現況写真に探掘跡地を合成する方法であり、これまでは写真に手書きで直接書き込む方法と、透視図や模型を写真に撮り合成する方法が用いられてきた。近年パソコンの飛躍的な進歩により、フォトモンタージュの作成がパソコンレベルでも可能となっている。筆者らもパソコンによるカラー画像合成処理技術を利用して、カラーフォトモンタージュを作成する方法を試みているので、6節で詳述する。

4. 数値地形モデルの作成

数値地形モデルの作成には、標高データの入力が第一段階となる。データ入力には、現在、次のような方法が用いられている。

- ①地形図上にメッシュを切り、各格子点の標高データを読み取る方法
- ②デジタイザにより地形図上の等高線をトレースする方法
- ③国土地理院発行の数値地図を利用する方法
- ④イメージスキャナーにより地形図画像を読み取り、等高線を抽出する方法
- ⑤リモートセンシングデータを利用する方法

①は最も簡易な方法であり、メッシュを細かく切ることにより精度を上げることができる。地形図を分割して標高データを読み取り、データマージをすれば作業も比較的短時間で済む。ただし、メッシュ位置やサイズの変更によるデータの対応性がない。②は等標高値に対応するx, y座標を等間隔で読み込み、補完法によってメッシュデータに変換する方法である。データ入力後のメッシュサイズの変更が容易に行える利点があるが、デジタイザによる等高線のトレース作業は、案外時間と根気のいる仕事であり、①よりも時間と労力がかかる。③は国土地理院発行の50mおよび250mメッシュ数値地図を利用する方法である。1/25,000の地形図に対応する50mメッシュ数値地図は、すでに国内全地域分が発行されており、比較的安価に入手することができる。ただし、景観を扱う場合、50mメッシュでは精度が粗すぎるため、必要に応じた細かな精度に補完する作業が必要となる。

④は地形図を画像としてカラーイメージスキャナーで読み込み等高線を抽出して、これに標高値付与を行う方法である。地形図には等高線以外に道路、河川、地名等の多様な地理情報が含まれているため、等高線のみを精度良く抽出しデジタル標高モデルに変換する必要があり、現在、この点に関する技術開発が進められている。⑤は

LANDSAT(米国)やSPOT(フランス)からのリモートセンシングデータを利用するものである。座標の読み取り精度に対応する分解能は、LANDSATで30m、SPOTで10mであるが、1996年打ち上げ予定のADEOS(日本)では8mにまで向上する。ただし、垂直方向すなわち標高データの読み取り精度は、景観を扱う程度までには至っていない。また、現在のところリモートセンシングデータは個人レベルでは簡単には入手できないため、今後のインターネット等を利用した情報提供が待たれる。

以上のような状況から、現時点では景観シミュレーション用のデータ入力には①の方法を、また、可視領域図作成用のデータ入力には③の方法を用いている。

5. 可視・不可視領域の予測

採掘跡地が周辺地域のどこから見えるかを判定することは、景観を扱う上で最も基本的な問題となる。可視・不可視の判定には、視点と採掘跡地を結ぶ直線(視軸)がメッシュ標高モデルにより作られる地表面と交わらない場合には可視、交わった場合には不可視とする方法を用いている。なお、可視不可視の判定のアルゴリズムは、判定点での法線ベクトル N と視点へのベクトル E との角度が、 90° 以下すなわち $N \cdot E > 0$ のとき可視、 90° 以上すなわち $N \cdot E < 0$ のとき不可視とする内積による判定を用いている。

図2は、数値地形データをもとに作成した可視領域図の一例である。メッシュの大きさは 200×200 mで、下図の黒い部分が可視域、白い部分が不可視域を示している。上図の階調で標高を100m毎に階級分けしたデジタルマップと対比すると、今回試みた可視不可視領域の予測法が妥当であると思われる。なお、この予測はあくまでも地表高さによるものであり、樹木や建物等の視線を遮るものを考慮していないので、実際には可視領域はこれよりも少なくなる。

6. CGによる景観予測

採掘に伴う跡地の形状変化や緑化による修復状況は、コンピュータグラフィックス(CG)によりシミュレーションする。この方法では、まず、4節で述べた方法により採掘場を含む対象地域のメッシュ標高データを入力して、数値地形モデルを作成する。これに採掘に伴う地形改変や修復緑化による地形修正などにより標高が変化する地点のデータを更新して、各視点から眺望される跡地の様子を、ワイヤフレームモデルによりシミュレーションする。さらに、森林や山肌の遠近感や光線の加減による立体感をリアルに予測するために、ポリゴン画像処理法によるサーフェースモデルも作成できる。

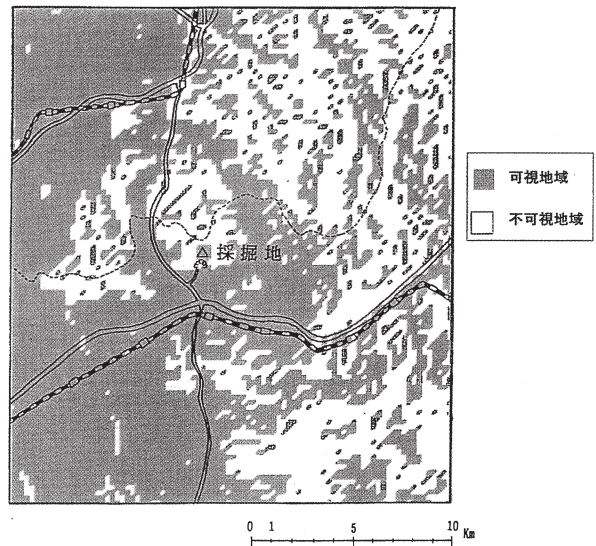
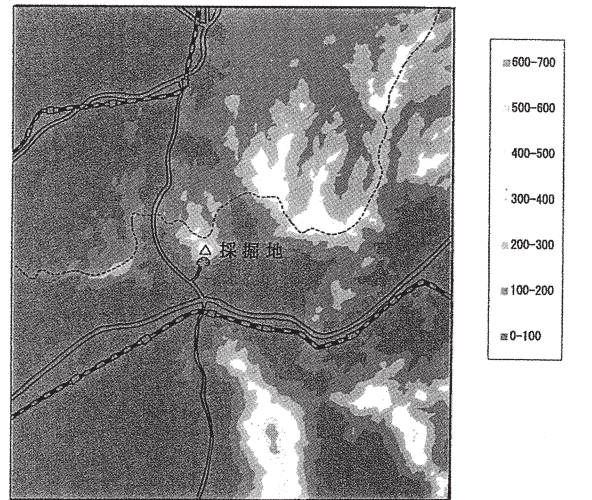


図2 可視領域図の一例

図3、図4は、それぞれワイヤフレーム法およびポ

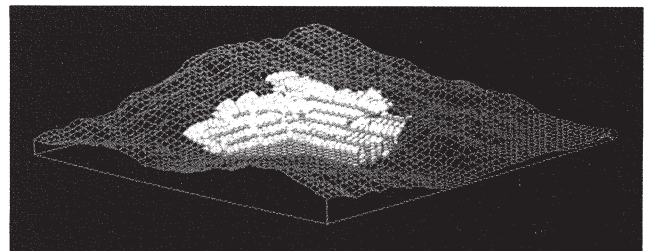


図3 ワイヤフレームモデル

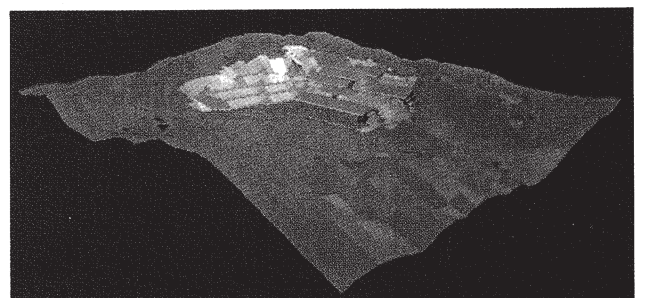


図4 サーフェースモデル

リゴン画像処理法による景観シミュレーションの一例を示したものである。このようにして作成したCGを現況写真と照合して、以下に述べる方法によりカラーフォトモンタージュを作成する。

図5は、汎用パソコンであるPC-98を用いた採掘跡地の景観シミュレーションのカラー画像処理システムを示したものである。まず、現地で撮影した景観写真を、画像入力装置（イマプロQ CS3200）を用いてデジタル画像化してPhoto CDを作成する。これをCD-ROMドライブからパソコン（PC-9821 Xs）に取り込み、画像処理ソフト

（Photo Finish for Windows）を用いて、跡地や修復緑化状況を前述のCGと照合しながらカラー画像合成処理を行う。デジタル画像を生写真の画質的に近づけるためには、フルカラーモードで解像度の高い画像とする必要がある。解像度については、デジタル画像の最小構成要素であるピクセル数を多くするほど鮮明な画像が得られる。しかし、パソコンレベルでの処理を考えた場合、解像度を高くすると、画像処理時間が長くなる、多くの作業メモリ領域が必要となる、ファイルサイズが大きくなる等の不都合も生じる。したがって、今回の画像処理では、解像度は生写真と比べて遜色のない必要最小限の解像度として、144pixels/inchとした。また、同様の理由により画像サイズは、768×512pixelsとした。カラーモードについては、生写真の色彩と実用上遜色のない8ビットモード（256色）とした。これらのカラーモード、解像度、画像サイズで作成されたデジタル画像のファイルサイズは約1.1MBとなり、1画像が1枚のフロッピーディスクに収まるサイズとなる。

図6は、砕石用原石山の採掘進展に伴う景観変化を、前述の画像処理システムを用いて、現況写真をもとに採掘前および採掘後の状況を画像合成によりシミュレーションした例である。画像合成に当たっては、残壁部分は同じ切羽から、採掘前の森林部分は周囲の森林から、小部分に分けて何度も移植を繰り返す方法を採用している。これにより、周囲との違和感が極めて少なくリアルな画像を得ることができ、採掘前の原石山の様子や採掘後の跡地の様子を、生写真と遜色なくリアルに表示すること

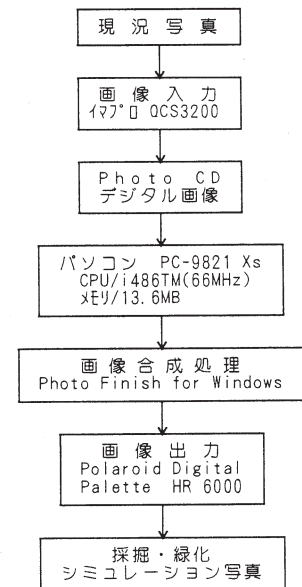
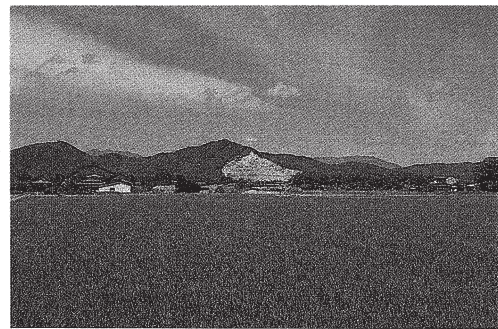


図5 PC-98を用いたカラー画像処理システム

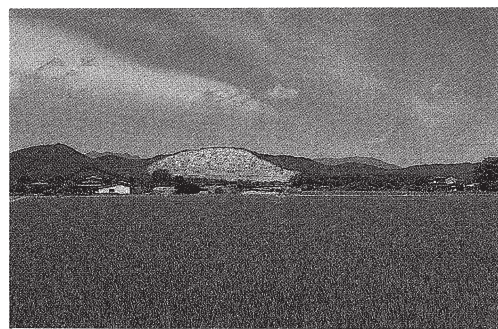
が可能である。これらの処理画像を、必要に応じてディスプレイ上にデモンストレーションしたり、画像出力機（Polaroid Digital Palette HR6000）により採掘・緑化シミュレーション写真を作成して評価実験に用いることができる。



(a) 採掘前



(b) 現 状



(c) 採掘後

図6 採掘状況のフォトモンタージュの一例

図7は、画像処理に優れた性能を持つPower Macを用いたカラー画像処理システムを示したものである。このシステムでは、画像入力に35mmフィルムスキャナー（Minolta Quick Scan 35）を用いて、通常のネガフィルムやスライドから画像をパソコン（Power Mac 9500/120）に取り込むことが可能である。また、デジタルカードカメラ（FUJIX DS-200F）により撮影したデジタル画像をパソコンにダイレクトに入力することもできる。画像処理ソフトには、多彩な機能を有するPhoto Shop Ver. 3.0を用

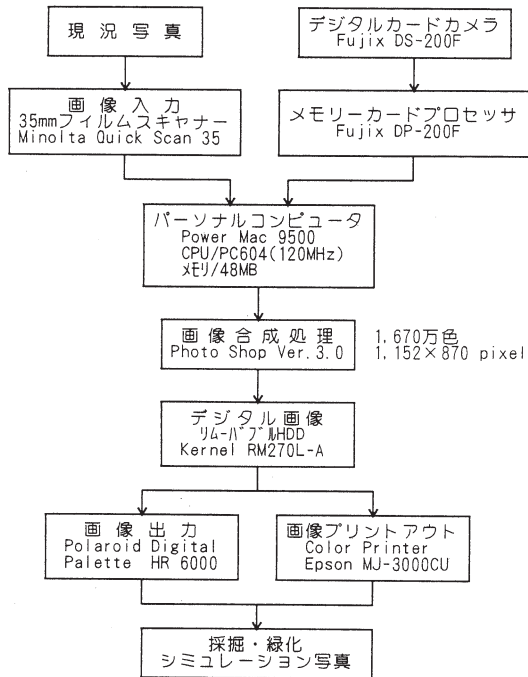


図7 Power Mac を用いたカラー画像処理システム

いている。このシステムでは、色彩を重要な要素と考えたので、カラーモードは 24ビットモードのフルカラー (1,670万色) としている。また、メモリを48MBに増設して、画像サイズは1,152×870pixelsと鮮明な画像を処理できるようにしている。これらのカラーモード、画像サイズで作成されたデジタル画像のファイルサイズは約 5 MBとなり、1画像が1枚のフロッピーディスクには収まらないサイズとなるので、ファイルセーブには、リムーバブルハードディスクドライブ (Kernel RM270L-A) を用いている。また、画像出力には720dpiのフルカラープリンター (EPSON MJ-3000CU) も使用して、A2サイズまでの景観シミュレーション画像を写真よりもむしろ鮮明にプリントすることができる。

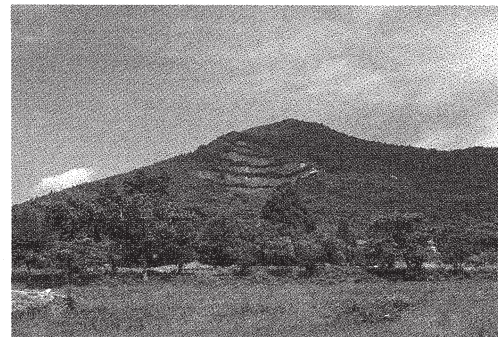
図8は、探掘終了後の残壁の修復緑化状況を、先の画像処理システムを用いてシミュレーションした例である。(a)は探掘後の緑化以前の状態であるが、景観写真としてみた場合、^{いなむら}稲叢 (刈った稲を積み重ねたもの) がかなり目立ち探掘跡地の景観評価に用いる変化刺激としては適当ではない。そこで(b)のように周辺の草の部分に稲叢を重ねて消去するという画像処理を施すことが可能である。(b)の場合は、探掘跡地を牧草などの草本類で緑化したと想定したものである。また、(c)はベンチ小段に在来種の木本類を植栽したと想定したフォトモンタージュである。さらに、(d)はのり面に草本類を植生し、ベンチ小段に木本類を植栽したと想定したフォトモンタージュである。このように探掘後の修復緑化状況も、カラー画像処理によってよりリアルにシミュレーションすることが可能である。



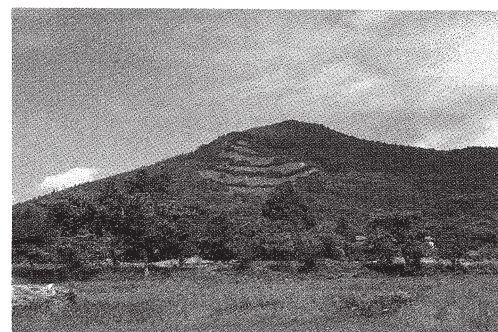
(a)緑化前の状況



(b)草本類による緑化状況



(c)木本類による緑化状況



(d)草本類と木本類による緑化状況

図8 緑化状況のフォトモンタージュの一例

7. 景観評価方法

景観とは環境に対する視覚的な側面をいい、ある特定の活動を通じて相対的に評価されるものである。そのため、絶対的、普遍的な判断基準を求めることは困難であり、露天採掘跡地の景観評価も、これまでは自然保護の観点から定性的に行われる場合が多かった。筆者らは、採掘跡地の景観評価に計量心理学的手法の導入を試み、複数の人間の主観的評価を統計的に処理することにより、定量的な評価を行うことを可能にした。

図9は、景観予測、評価システムのフローを示したものである。前節までの方法で作成したフォトモンタージュを変化刺激として用いて、評価実験を行っている。評定尺度法および選択法による定量的解析においては、採掘跡地が景観的にみて気にならない許容限界、すなわち見えの大きさ等の基準値を算出できる^{4) 6)}。また、SD法(意味微分法)による視覚的解析では、プロフィール分析、クラスター分析、因子分析等により、採掘跡地の

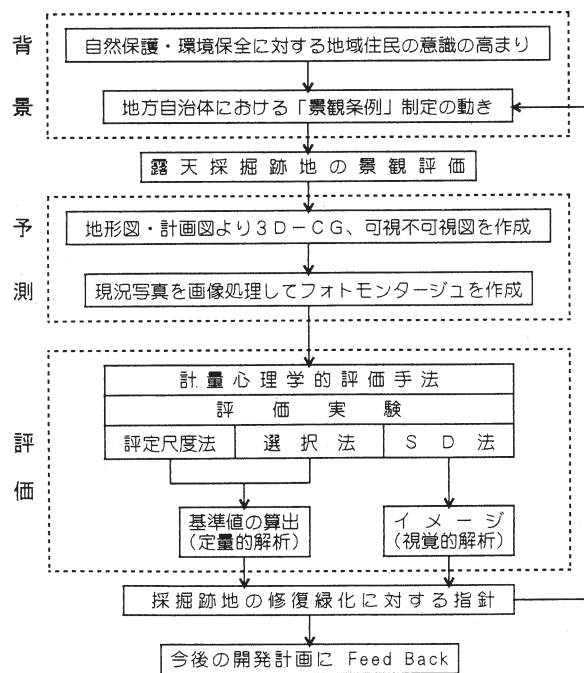


図9 景観予測、評価システム

修復緑化に関する景観の質的な検討を行うことが可能である⁹⁾。

これらの定量的評価手法を用いて得られた結果が、今後の開発計画における修復緑化に対する指針となるよう、さらに数多くの事例研究を行う必要がある。

8. まとめ

露天採掘跡地の景観問題は、碎石資源開発において事前に予測、評価すべき重要事項となりつつある。本報では、パソコンによる画像処理を利用した露天採掘跡地の景観シミュレーションシステムについて述べてきたが、CG分野は近年長足の進歩を遂げており、今後さらに優れたシステムがより簡単に使用できるようになることは確実である。これらの景観シミュレーションシステムを駆使して、採掘に伴う景観変化を予測すると共にその評価を行い、景観保持を考慮した開発を行うことが現在そして将来に向けての重要な課題である。

引用文献

- 1) 大塚尚寛・関本善則：資源と素材，Vol.109，p.897-902，(1993)
- 2) 大塚尚寛・関本善則：建設用原材料，Vol.5，No.1，p.1-6，(1995)
- 3) 大塚尚寛・関本善則：資源と素材，Vol.105，p.215-219，(1989)
- 4) 大塚尚寛・関本善則：資源と素材，Vol.109，p.203-208，(1993)
- 5) 西山 孝・楠田 啓・伊藤俊秀：資源と素材，Vol.110，p.1037-1042，(1994)
- 6) 大塚尚寛・関本善則・尾刀幸雄：資源と素材，Vol.11，p.835-840，(1995)
- 7) 鈴木静夫：大気環境科学，p.3-11，(1993)，内田老鶴圃(東京)
- 8) 鹿島建設環境開発部編：環境アセスメントの実務，p.222-224，(1987)，鹿島出版(東京)
- 9) 大塚尚寛・関本善則：資源と素材，Vol.110，p.157-162，(1994)

(1996年5月20日受付 8月23日受理)