

ニューラルネットワークを適用したトンネル坑内のデジタルカメラを使った粉じん濃度計測法の適用

株式会社 間組 正会員 ○平野 充剛

飛島建設株式会社 正会員 筒井 隆規

山口大学大学院理工学研究科 学生会員 岸田 展明

山口大学大学院理工学研究科 正会員 進士 正人

1. はじめに

トンネル坑内では、トンネル施工時に発生する粉じんを作業員が吸引することが原因で、じん肺症になる健康障害を抱えている。そこで、平成20年3月より半月ごとに定期的なトンネル坑内の粉じん濃度を計測することが厚生労働省より義務化された¹⁾。現在の粉じん濃度計測には一般的に「デジタル粉じん計」が使用されている。しかし、価格が高価で測定に時間を要するやめ、簡易な計測方法が望まれている。そこで、樫本はデジタルカメラのフラッシュ撮影を利用した粉じん濃度計測法が考案²⁾し、フラッシュ撮影した画像から抽出した特徴量をニューラルネットワーク（以下、本文中では“NN”と略称する）に入力して粉じん濃度を出力させるシステムの構築を行った。しかし、このシステムは照明変化に弱く、さらにフラッシュの明るさのムラに影響され、粉じんの増減を特徴量として十分に抽出できず、汎用性に欠けていた。

そこで、本研究ではフラッシュ画像を分割し、それぞれの画像の画像ベクトルを作成し画像から抽出したその特徴量を使った NN の利用による粉じん濃度計測法を提案³⁾し、本研究と既往の研究の測定法による粉じん濃度を比較した。

2. デジタルカメラによる粉じん濃度計測の原理

トンネル坑内の作業現場において、デジタルカメラを使用してフラッシュ撮影を行うと写真内に粉じんが白く写り込む。この現象を利用して、粉じん濃度計測法を行う。この方法は、現場での測定作業が非常に簡易であり、他の作業の妨げはほとんどない。

3. NN を利用した粉じん濃度計測法

NN は自発的に学習するシステムであり、正解値と入力値をセットで学習させることで、最適な解を導き出すシステムである⁴⁾。

本研究では、フラッシュ撮影した画像を画像処理して特徴量を抽出する。その特徴量を NN に入力し、粉じん濃度を出力させるシステムである（図-1）。また、

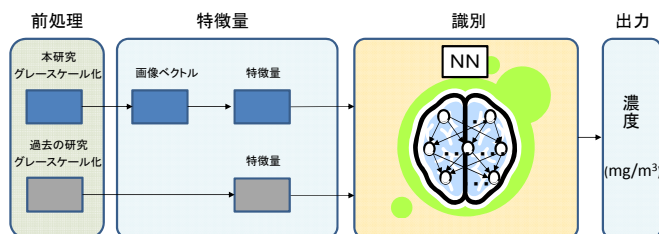


図-1 NN を利用した粉じん濃度計測法

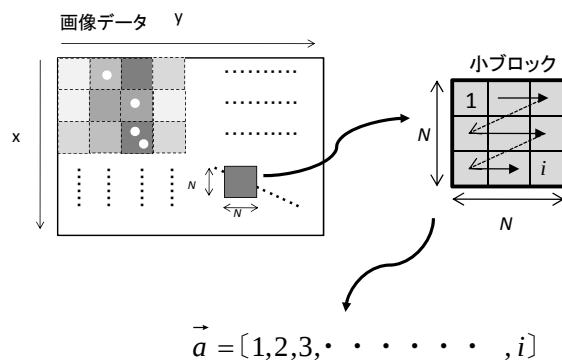


図-2 画像データ中の小ブロックと画像ベクトル

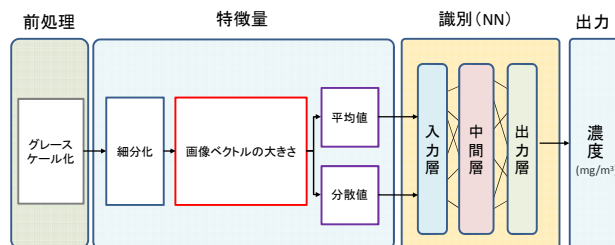


図-3 最適な粉じん濃度計測システム

NN は事前に処理画像と粉じん濃度との関係の学習を行い、適用する問題に対してネットワークを最適化しておく必要がある。

3. 1 過去の研究で用いた特徴量

フラッシュ撮影した画像をグレースケール化し、その画像の平均値、分散値、標準偏差を特徴量として入力した。

3. 2 本研究で用いた特徴量

本研究では、フラッシュの明るさの影響を受にくい特徴量を抽出するために、画像データを小ブロックに分割し、各小ブロックごとに明るさを考慮した画像ベクトルを利用した。特徴量の算出手順は以下に示す通

キーワード：デジタルカメラ、ニューラルネットワーク、粉じん濃度、トンネル

連絡先住所：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学理工学研究科 TEL：(0836)85-9011

りである。

ステップ①：フラッシュ撮影した画像を過去の研究と同様にグレースケール化し、その画像を図-2に示すように $N \times N$ 画素のブロックに細分化し、 N^2 次元ベクトルの小ブロックを作成する。細分化することで、画像の背景と粉じんの輝度値を明確に分けることができ、小ブロック内の背景の輝度値は一定と仮定する。本研究では、微小な粉じんをより多く抽出するために、 N を 3 とした。またその際に、画像処理の高速化をはかるため、画像を 1/10 圧縮した。

ステップ②：小ブロックについて、ブロック内の最小値で差を求めることで、小ブロックに対する明るさのムラを消去する。すなわち、画像ベクトル $(\vec{a})$ に変換し、式(1)より画像ベクトルの大きさを算出する。

$$|\vec{a}_{(x,y)}| = \sqrt{\sum_{i=1}^{N^2} \{a_i - \min(\vec{a})\}^2} \tag{1}$$

$\min(\vec{a})$ ：画像ベクトル $\vec{a}$ の最小値

ステップ④：この画像から平均値、分散値の特徴量を抽出し、NN に入力する。本研究で用いた最適な粉じん濃度計測システムを図-3に示し、システムによってネットワークの構築を行う。

4. 現場実験

4.1 実験方法

建設中の A トンネル施工において、吹付けコンクリート作業時に切羽から 50m 付近で実験を行った。実験は、撮影方向にブラックボードを設置し、デジタルカメラでブラックボードにフラッシュ撮影をするものであり、1 分間隔でデジタル粉じん計の計測と同期させた(写真-1)。本実験では、設定したデジタルカメラの撮影パラメータを表-1に示す。

4.2 実験結果

本実験では吹付けコンクリート作業中に 343 枚のフラッシュ撮影を行った。そのうち 274 枚を教師データとし NN の学習として使用し最適なネットワークの構築を行った。次に、汎用性を評価するため残りの 69 枚を検証データとして NN に入力した。図-4に本研究と過去の提案方法のそれぞれにより NN を用いて予測した粉じん濃度とデジタル粉じん計で計測した粉じん濃度の結果を示す。図からもわかるように、NN に入力する画像データの特徴量を工夫することによって、これまでの研究よりも相関性の高い濃度予測ができる。また、よりわかりやすく評価するため、いくつかの評価方法を算出し、表-2に示す。この表からも本研究の方が精度が良い結果となったことがわかる。



写真-1 現場適用状況

表-1 デジタルカメラの撮影パラメータ

デジタルカメラ	PENTAX k-m
記画素数	400×267ピクセル
レンズF値	F8.0
レンズの焦点距離	40mm
ISO感度	800
フラッシュ	発光
ホワイトバランス	手動

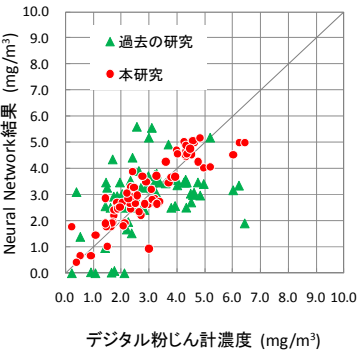


図-4 汎用性の相関図

表-2 評価方法

特徴量	絶対値誤差1.0(%)	相関係数	精度(mg/m³)
本研究	88	0.87	±0.55
過去の研究	52	0.36	±1.27

5 まとめ

本研究では、フラッシュによる明るさのムラを考慮した特徴量を検討した。その結果、過去の研究で利用した特徴量に比べて、より汎用性が向上することが検証された。今後の課題としては、より簡便な計測を行うために撮影方向に設置したブラックボードを使用せずにデジタルカメラだけで粉じん濃度を算出方法に検討する必要がある。

参考文献

1) 厚生労働省, 粉じん防止障害規則, 平成 21 年 3 月 30 日改正
2) 樫本陽史: デジタルカメラを用いたトンネル坑内の粉じん濃度計測へのニューラルネットワークの適用, 山口大学工学部社会建設工学科建設基礎工学講座, 平成 20 年度卒業論文
3) 岸田展明: ニューラルネットワークを利用したトンネル坑内のデジタルカメラによる粉じん濃度計測法, 土木学会中国支部, 2010
4) 田辺和俊: NEUROSIM/L によるニューラルネットワーク入門,p7,75