

株式会社間組 正会員 樫本 陽史
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

山岳トンネル施工における地山掘削時やずり出し作業時、吹付けコンクリート作業時等に発生する粉じんが作業環境の悪化や、健康被害を及ぼすことが問題視されている。そのため、厚生労働省より粉じん障害防止規則等の一部改正がなされ、作業現場の粉じん濃度を一定以下に保つために定期的な粉じん濃度計測が義務化された。このことに伴い、作業現場では粉じん濃度計測を行う頻度が増加している。現在、粉じん濃度計測には一般的に「デジタル粉じん計」が用いられている（写真 - 1）。この計測器は一定の吸引量で空気を吸引し、吸引孔内の粉じんをレーザーを用いてカウントし、粉じん濃度を換算する。しかし、この計測方法は設置地点で継続的に 10 分以上の計測を行わなければ評価ができず、また計測器が比較的高価であるため、手軽に利用ができない問題等がある。



写真 - 1 デジタル粉じん計



写真 - 2 トンネル坑内の撮影



写真 - 3 デジタルカメラを用いた粉じん濃度計測風景

2. デジタルカメラを用いた粉じん濃度計測

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（写真 - 2）。この現象を利用し、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法¹⁾について研究がなされてきた。この方法では撮影画像を解析することで粉じん濃度を算出する。現場での測定作業は非常に簡易であり、他の作業の妨げはほとんどない（写真 - 3）。また、市販のデジタルカメラを使用しているため誰でも容易に入手可能であり、撮影画像がデータとして残るため作業時の粉じん濃度計測の証明になるという利点がある。しかし、まだこの計測法に関しては、画像によって算出される濃度の誤差が大きく出るケースもあり、高い精度が期待できるまでには至っていない。

本来、画像解析では、「前処理」、「特徴量抽出」、「識別」、「後処理」といった過程で解析が行われる²⁾。しかし、これまでは画像の分散値のような一つの特徴量から粉じん濃度を求めていたため、「識別」という項目に関して特に注意が払われていなかった。しかし、今後粉じん濃度計測の精度向上のため、複数の特徴量によって画像解析を行う際に「識別」は欠くことのできない項目である。本研究ではデジタルカメラを用いた粉じん濃度計測の画像解析に関して、代表的な識別器であるニューラルネットワークを適用することで、この粉じん濃度計測の精度向上を図る。

3. ニューラルネットワークについて

ニューラルネットワークとは、動物の脳神経組織を数学的に模擬したコンピュータアルゴリズムのことである。本研究では図 - 1 に示す様に入力層、中間層、出力層を持つバックプロパゲーションモデルを用いる。

このモデルは入力層に任意の入力パターンを与えると、情報はネットワークの結合の重みに基づき、中間層、出力層と伝播して出力を出す。この出力に対して、本来出力されるべき正しい値を与えることにより、結合の重みを自発的に変化させる。この繰り返しによってネットワークは正しい答えを出力するようになる。このように結合の重みを変えることを「学習」という。

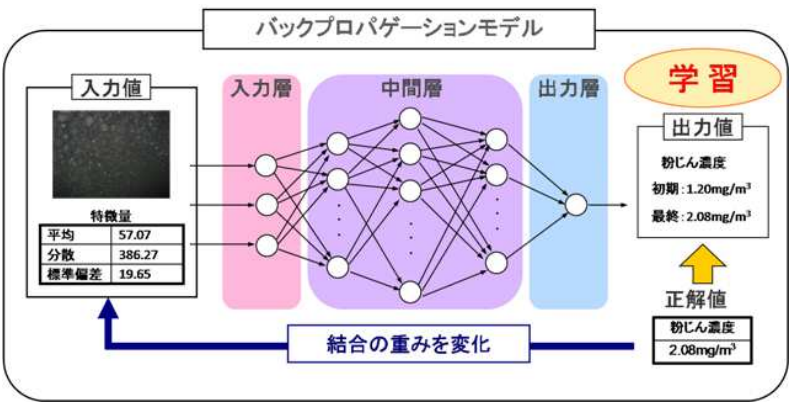


図 - 1 ニューラルネットワークモデル図

4. ニューラルネットワークの適用実験

(1) 従来法との比較

ネットワークの学習には、撮影画像から抽出した特徴量を与え、正解値にはその撮影時のデジタル粉じん計で得た粉じん濃度を与えた。なお特徴量には、従来法と同様に撮影画像をグレースケール化して求められる画像全体の平均、分散、標準偏差を用いた。まず学習に用いる画像データに特異値が存在しないか確認を行うために Leave-One-Out 法を用いた。Leave-One-Out 法とは、N 個の学習データのうち 1 個を取り除いてテストデータとし、残りの (N-1) 個を使って学習することですべてのデータについて N 回繰り返し、それらのデータを評価する手法である。その結果、特に大きく誤差が生じるデータが存在した。それらの画像について検証を行ったところ、撮影時のカメラの設定に違いがある可能性が挙げられた。そのため、特に誤差の大きいデータ 10 枚を取り除き、総数 151 枚で実験を行うことにした。

実験では全画像データのうち 5 分の 1 にあたる 31 枚を検証用データとして取り除き、学習後のネットワークに与えることで、未知データへの汎用性を評価した。図 - 2 にデジタル粉じん計の濃度に対する出力結果の相関図を示す。なお図には従来の方法を用いて粉じん濃度を推定した結果をあわせて示す。図 - 2 において、直線上に点がある状態が理想で

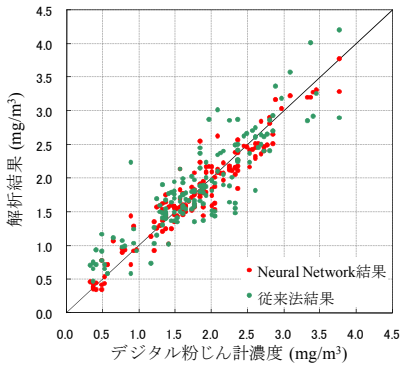


図 - 2 相関図の比較

あり、出力されるべき正解値が求められていることを表す。図 - 2 から明らかのように、従来法よりもニューラルネットワークを用いた場合の方が傾き 45 度の直線に近い値が求められていることがわかる。また、本研究結果と従来法を比較しやすくするため、デジタル粉じん計の濃度を正解値として、解析結果との平均二乗誤差を求めた。なお比較にあたっては、一度学習したことのあるデータでの出力結果と、学習に用いていない未学習データでの出力結果を別々に比較し、学習データ、未学習データ全ての出力結果

表 - 1 平均二乗誤差の比較

	再現性	汎用性	全体
Neural Network	0.2058	0.2386	0.2132
従来法	0.3566	0.3476	0.3547

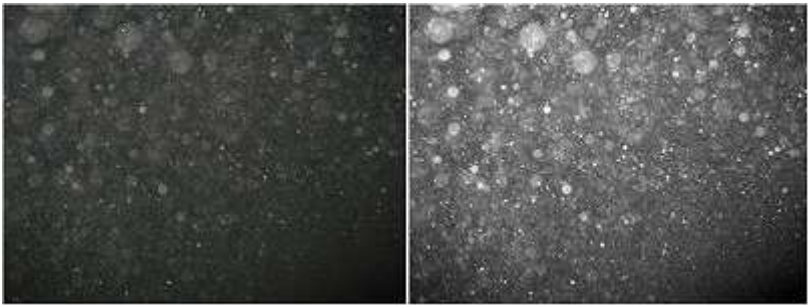


写真 - 4 コントラスト変換の前 (左) 後 (右)

をまとめて算出した平均二乗誤差についても比較した（表 - 1）。平均二乗誤差は 0 に近いほど良い結果であり，表 - 1 からわかるように，ニューラルネットワークを用いた場合の方が良い結果であるといえる。

表 - 2 入力特徴量による平均二乗誤差の比較

	再現性	汎用性	全体
7つの特徴量結果	0.2541	0.2676	0.2571
平均+分散+標準偏差	0.2058	0.2386	0.2132

（2）前処理，新しい特徴量の検討

本研究では，明るさの異なる画像でも比較が行えるようにするため，前処理方法の検討としてコントラスト変換の一つである線形変換を行った．これは画像の濃淡レベル域を許容濃淡レベル域全体に拡大する方法である．その例を写真 - 4 に示す．この変換後の画像から特徴量を抽出する際に，今までと同様の平均，分散，標準偏差に加えて，濃淡ヒストグラムから得られる平均，分散，歪度，尖度を抽出した．これら合計 7 つの特徴量によって学習，検討を行った．出力結果の平均二乗誤差を表 - 2 に示す．しかし，この表からもわかるように 3 つの特徴量によって検討を行った場合よりも精度を向上させることができなかった．これはコントラスト変換によって，撮影画像毎の明暗の違いが小さくなってしまったこと，および，濃淡ヒストグラムがこれまで用いてきた特徴量と同様で，明るさに関係しているため精度が上がらなかったものと考えられる．

5. 結論

本研究によって，従来法よりもニューラルネットワークを適用した場合の方が，精度が向上するという結果を得ることができた．従って，デジタルカメラを用いた粉じん濃度計測において，ニューラルネットワークの適用が粉じん濃度推定の精度向上に役立つことがわかった．そこで，新しい前処理や特徴量の検討を行ったが，大きく精度が向上する結果は得られなかった．今後さらなる精度向上を検討する場合には，撮影画像中の粉じんを数える等，明るさに関係しない特徴量を抽出し，ニューラルネットワークに組み込むこと等が今後の研究課題である．

参考文献

- 1) 渡部亮「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法」山口大学工学部社会建設工学科建設基礎工学講座，平成 19 年度卒業論文
- 2) 新編 画像解析ハンドブック 高木幹雄・下田陽久，東京大学出版