

(51) 機械学習に対する前処理が舗装撮影画像からのひび割れ検出精度に及ぼす影響の評価

亀川 昌幸¹・西山 哲²・佐守 直人³

¹学生会員 岡山大学環境理工学部 環境デザイン工学科 (〒700-8530 岡山県岡山北区津島中 3-1-1)

E-mail: p2jm9txv@s.okayama-u.ac.jp

²正会員 岡山大学教授 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山北区津島中 3-1-1)

E-mail: nishiyama.satoshi@okayama-u.ac.jp

³学生会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山北区津島中 3-1-1)

E-mail: p9qz9emp@s.okayama-u.ac.jp

アスファルト舗装点検の管理基準の 1 つとしてひび割れ率という指標がある。このひび割れ率は人的作業により算出しているため、膨大な労力と時間がかかる。この問題を解決するために人工知能技術を用いてひび割れを自動的に検出するという試みがあるが、撮影条件により検出精度が大きく異なるという欠点があり、実用化されていない。そこで本研究では、機械学習に対する前処理の効果を通して、人工知能技術を舗装のひび割れ率算出に適用することの可能性を検討した。その結果、検出精度が向上する傾向になく、前処理によっては検出精度を低減させる場合もあり、機械学習の応用に当たってはパラメータの設定も含めて前処理工程の決定は容易ではないことがわかった。したがって、人工知能技術活用のためには、画像撮影条件の仕様の決定の研究が求められる。

Key Words: asphalt pavement, machine learning, crack detection, local binary pattern, image processing

1. はじめに

現状のアスファルト舗装点検では路面性状測定車により、ひび割れ率、わだち掘れ量、IRI (International Roughness Index) 等を計測・分析・記録することで舗装評価が行われている¹⁾。これらの中で、わだち掘れ量と IRI に関してはレーザースキャナやレーザ変位計などによって迅速かつ定量的に測定されているが、ひび割れ率に関しては点検者が舗装撮影画像からひび割れ箇所を手作業でスケッチした結果から算定しているため膨大な作業量を要し、多大な時間がかかるという問題がある。この問題を解決するために、画像処理技術に加えて機械学習や深層学習などの人工知能分野で活用されている自動抽出技術を用いることが試みられている^{2)~7)}。これは走行車両から撮影された舗装のデジタル画像に対して人工知能技術を適用することで、ひび割れを認識する人的作業を自動化しようとするものである。試行されている人工知能技術による検出精度には限界がありながらも、損傷が顕著であるひび割れ箇所を特定するなどの人的作業を支援する工程に用いることで、点検業務の効率を向上させることが期待されている。しかしながら、舗装には密粒度

アスファルトだけでなく、排水性用のポーラスアスファルトなど表層状態が異なるものが多種あるが、それらを考慮した解析法⁸⁾では無いことによる影響や供用からの期間の違いによる色合いの違いの影響が、ひび割れ検出精度を大きく変えてしまう欠点がある。また画像の撮影状況も大きく検出精度に影響し、特に、明るく撮影した画像と暗く撮影された画像でのひび割れ検出精度は大きく異なるため、画像撮影技術の標準化が要求されるなどの理由で実用化は普及していない。これらの課題は、主にひび割れ箇所の画像の輝度値が、周辺の領域の輝度値と異なることを利用していることに起因すると考える。実際、画像間の濃淡差を補正する処理を施すことで、機械学習によるひび割れ検出精度が向上することが報告されている^{9), 10)}。人工知能技術がひび割れを認識するには、前述の通り、ひび割れ箇所の画像の輝度値の違いによるものか、エッジのようなひび割れが作る形状の特徴を利用する手法を活用しているのが主である。したがって、撮影条件により、ひび割れの輝度か形状が異なって写されるのは必然であり、それから特徴量を抽出する人工知能を活用する処理に対して、ひび割れ検出に影響を及ぼす因子を取り除く前処理を行うことも必須にならざるを

得ない。しかしながら、どのような特性をもった前処理が、どのような人工知能技術に適するかを整理して報告された例は少ない。今後の技術者不足を考慮すると、舗装点検作業から補修計画の立案までに要する人的労力の削減を図る技術の構築は必要であり、そのために人工知能技術の活用可能性と限界を整理しておくことは、重要な知見を提供する資料になり得ると考える。

この背景を鑑み、本研究において、輝度値の違いによりひび割れを認識する工程を対象に、機械学習に対する前処理の効果を通して、人工知能技術を舗装のひび割れ率算出に適用することの可能性を考察する。具体的には、汎用化されている輝度値の違いを特徴とする機械学習アルゴリズムを用いて、ひび割れのエッジを強調する前処理とひび割れ箇所と周辺箇所の輝度値の相違を大きくする前処理の効果を検討し、撮影条件の違いによるひび割れ検出精度の改善法を考察する。機械学習を用いるのは、ひび割れ箇所の特徴量としての輝度値に注目した結果を考察するのに適した処理であることが理由である。

2. 機械学習アルゴリズムの概要

機械学習の特徴量として LBP (Local Binary Pattern) 特徴量を用いる。LBP 特徴量は画像の局所的な表現を特徴量としたもので、各画素を周囲の近傍画素と比較した相対値で構成されており、演算コストが少なく、撮影時の照明の影響に頑健であると言われている¹¹⁾。

また、ひび割れが含まれる画像 (正解画像) とひび割れが含まれない画像 (不正解画像) から、機械学習によって検出器を作成する。本研究では汎用的な OpenCV¹²⁾ による “WebCamPhoto” というアプリケーションを用いて検出器作成を行った。また、検出器は AdaBoost (Adaptive Boosting) と呼ばれる学習手法を用いる。AdaBoost は、一つひとつは判別能力の高くない弱識別器を、多く繋げることで強い識別器を作るという考え方の学習・判別アルゴリズムである。AdaBoost を活用した顔検出方法として Viola-Jones が提唱されており、顔検出において汎用化されている¹³⁾。このように画像が明るいあるいは暗いといった撮影時の照度の影響を受け難いとされる汎用的な手法を用いた。

次に、この機械学習と組み合わせる前処理として、次の特性を有し、汎用的に用いられている画像処理手法を組み合わせる。a) ~ f) がひび割れ箇所のエッジを強調する前処理、g) がひび割れ箇所と周辺箇所の輝度値の相違を大きくする前処理である。

a) ガウシアンフィルタ

ガウス分布を利用して注目画素からの距離に応じて近傍の画素値に重みをかけ、平滑化する¹⁴⁾。

b) ハイパスフィルタ

高周波である画素値の変化が大きいところ (細部の情報) のみを通し、画素値の変化が小さいところ (背景など) をカットする¹⁴⁾。

c) ソーベルフィルタ

平滑化フィルタをかける際に注目画素の距離に応じて重みづけを変化させたもので、輪郭検出に用いられる¹²⁾。

d) エンボスフィルタ

画像濃度が急激に変化する輪郭部分などのラインを抽出して画像の一部が浮き出たような錯視を発生させる¹²⁾。

e) 鮮鋭化フィルタ

平滑化とは逆に、画像のエッジ部を強調する¹⁵⁾。

f) ラプラシアンフィルタ

二次微分を利用して画像から輪郭を検出する¹²⁾。

g) ヒストグラム平均化フィルタ

出力画像の画素値を全域に渡って均一になるように変換することで画像の明度とコントラストを調整する¹²⁾。

3. 機械学習によるひび割れ検出結果と考察

iPhone8 で撮影した画像から学習画像を作成し、検出器によるひび割れ検出の精度検証を行った。画素数は 1200 万画素である。検出結果は、撮影画像からのひび割れ評価に用いられている「ひび割れ率」という指標で評価する。算出手順は、路面を 0.5 m のメッシュで区切り、区画内にひび割れが 1 本以上入ればメッシュの 60% の面積が、2 本以上入ればメッシュの 100% の面積がひび割れを起こしているとして面積換算するものである¹⁶⁾。ここでは検出器のひび割れ検出精度を定量的に評価するために「検出率」という指標を次式のように定義した。

$$\text{検出率 (\%)} = \frac{\text{検出器によるひび割れ率}}{\text{目視によるひび割れ率}} \times 100 \quad (1)$$

ひび割れ抽出方法としては図-1 に示す長方形抽出を用いた。図中の青い実線で囲まれる箇所がひび割れとして抽出された箇所である。図-2 に示す正方形抽出と比較すると抽出精度の違いは明らかである。ひび割れの方

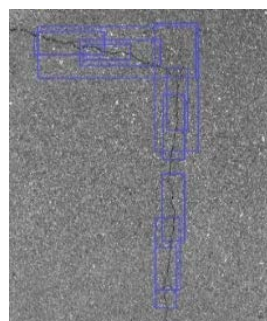


図-1 長方形抽出

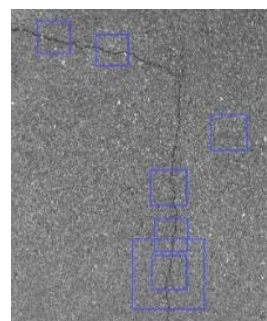


図-2 正方形抽出

表-1 各画像処理手法を施した検証結果

前処理	フィルタの種類	平均検出率(%)
なし	フィルタなし	68.6
エッジ 強調	a) ガウシアンフィルタ	53.5
	b) ハイパスフィルタ	56.2
	c) ソーベルフィルタ	36.9
	d) エンボスフィルタ	0
	e) 鮮鋭化フィルタ	11.6
	f) ラプラシアンフィルタ	0
輝度値 を操作	g) ヒストグラム平均化 フィルタ	71.1

向性を考慮しない正方形抽出に対し、長方形抽出では縦方向・横方向に延びるひび割れを分けて抽出することができるため抽出精度が高い傾向にある。学習画像は正解画像 2800 枚、不正解画像 2000 枚を与えた。10 枚の評価画像に対して、学習画像に各画像処理を施した検出結果を表-1 に示す。また、図-3 に元画像、図-4～図-10 にそれぞれの画像処理適用後の画像を示す。

これらの結果より、各画像処理手法についての考察を述べる。ガウシアンフィルタではひび割れ箇所のエッジ成分を他のフィルタよりも確実に抽出することができたが、ひび割れ箇所の輝度値が上がってしまったため、LBP 特徴量へと変換される際に輝度値の高いひび割れを捉えられなかったため検出精度が低下したと考えられる。

ハイパスフィルタでは舗装画像内の細い鉱物にも反応し、さらに、亀甲状のひび割れなどにおいてエッジ成分を強調することが困難であったため検出精度が低下したと考えられる。

ソーベルフィルタ、エンボスフィルタ、ラプラシアンフィルタではエッジ抽出を行う際に、画素の反転処理を行うことから学習画像と入力画像の互換性が失われてしまったために検出精度が低下したと考えられる。さらに、ラプラシアンフィルタではひび割れ幅が 1 pix のひび割れが消えてしまうことで逆に学習画像の質を落としてしまい、検出精度が低下したと考えられる。

鮮鋭化フィルタは元画像とラプラシアンフィルタ適用画像の差分から求めた画像を用いたが、差分によってエッジ成分を強調する際、フィルタ処理によりひび割れを細線化したため、学習画像の質を落とすことになり検出精度が低下したと考えられる。

ヒストグラム平均化フィルタでは、画像全体に渡って明度とコントラストを調整するが、LBP 特徴量が画像間の輝度値の違いには頑健であるという性質により、元画像との不変性が保たれたために検出精度に差が生まれなかったと考えられる。

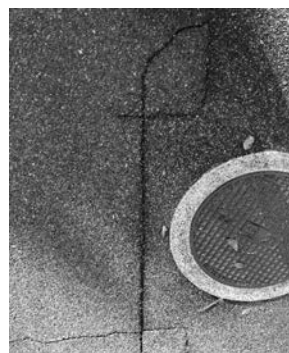


図-3 フィルタなし



図-4 a) ガウシアンフィルタ

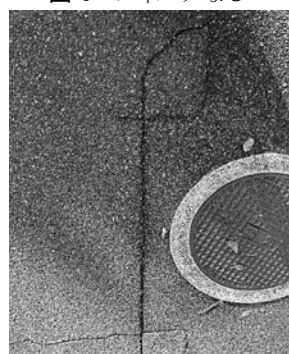


図-5 b) ハイパスフィルタ

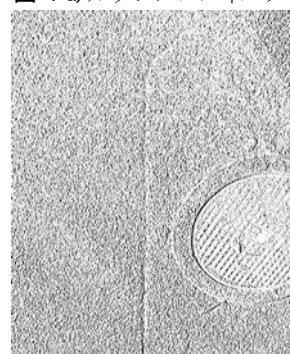


図-6 c) ソーベルフィルタ

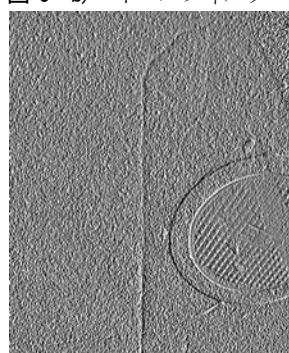


図-7 d) エンボスフィルタ

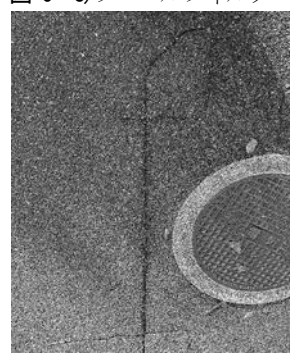
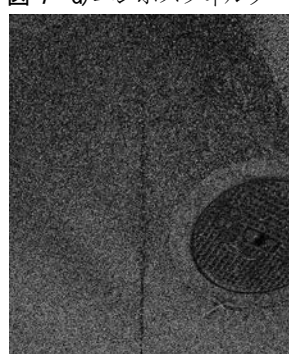
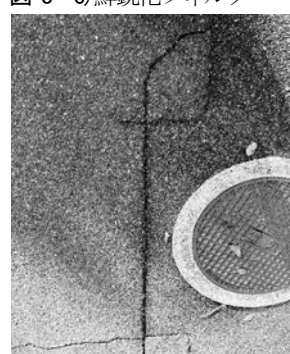


図-8 e) 鮮鋭化フィルタ

図-9 f) ラプラシアン
フィルタ図-10 g) ヒストグラム平均
化フィルタ

以上の結果より、撮影条件の影響を取り除くための前処理の影響に関して、輝度値を操作する g) は影響が少なく、エッジのような形状を強調する操作 a)～f) は、検出精度を大きく低下させることが明らかになった。すなわち、撮影条件の違いにより画像の明るさなどが異なる影響を少なくなることを目的に行われる前処理の効果は期待できない。さらにエッジを強調する前処理と輝度値を特徴量とする機械学習の組み合わせは検出率を低減さ

せる場合があることから、人工知能処理の前処理に使う画像処理技術には慎重な検討が必要であることが考えられる。ここでの前処理は限られたものしか試行しておらず、パラメータによって結果も変わると考える。しかしながら、前処理のパラメータの設定も決められたものは無く、試行錯誤による検討で決められるものならば、自動処理工程を困難にする要因にもなってしまう。今後、深層学習も普及すると考えるが、深層学習はひび割れの特徴量として何を抽出するのかは明確にならない場合もあり、その場合は前処理工程の選択は容易ではないことが推測される。

4. 路面性状測定装置で取得された画像での結果

本研究における前処理と機械学習によるひび割れ検出の工程を、路面性状自動測定装置によって取得された画像で試行した。デジタル画像の画素数は130万画素で、正解画像4500枚、不正解画像2500枚を与えた。検証画像の数は30枚で、前処理にはヒストグラム平均化フィルタを用いた。結果を表-2に示す。デジタル画像の画素数の相違によって、検出精度が向上する傾向は見られない。本研究で撮影された路面性状自動測定装置の撮影時の照度などの条件は不明であり、その不明確な要因を取り除く効果が期待された前処理工程も、機械学習には影響を及ぼさなかった。ここでも、画像処理による画像の明暗などの影響因子の除去は難しいといえる。

5. まとめ

舗装点検作業から補修計画の立案までに要する人的労力の削減を図る技術として人工知能の応用が期待されている。その一方で、取得する画像の仕様は決められておらず、その影響を見積もり、処理工程を確立することは人工知能を用いた自動処理には必須である。本研究は、輝度値の違いによりひび割れを認識する工程を対象に、機械学習に対する前処理の効果を通して、人工知能技術を舗装のひび割れ率算出に適用することの可能性を考察した。具体的には、汎用化されている輝度値の違いを特徴とする機械学習アルゴリズムを用いて、撮影条件の違いによる画像間の特徴量の相違を取り除く効果が期待さ

れる前処理の影響を考察した。その結果、前処理によっては検出精度を低減させるものもあり、機械学習の応用に当たっては、パラメータの設定も含めて前処理工程の決定は容易ではないと考える。したがって、人工知能の活用のためには、画像撮影条件の仕様の決定の研究が求められると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報，2018.
- 2) 浅田拓海，亀山修一，川端伸一郎，佐々木克典：走行車両から撮影した路面画像を用いた舗装のひび割れ評価手法の開発，土木学会論文集 E1，Vol. 70，No.3，I_9-I_16，2014.
- 3) 野村泰稔，村尾彩希，阪口幸広，古田均：深層畳み込みニューラルネットワークに基づくコンクリート表面のひび割れ検出システム，土木学会論文集 F6，Vol. 73，No. 2，I_189-I_198，2017.
- 4) 金邦釘，井後敦史，南免羅裕治，黒木航汰，大窪和明：車載カメラにより撮影された舗装画像からのディープラーニングによるひび割れ率評価，土木学会論文集 E1，Vol. 73，No. 3，I_97-I_105，2017.
- 5) 富士直子，小林大志郎，岩男誠二，笠原亮介，矢吹信喜：機械学習技術を活用した路面性状調査の効率化，土木学会論文集 F3，Vol. 73，No. 2，I_409-I_415，2017.
- 6) 浅田拓海，川村和将，石田篤徳，亀山修一：Convolutional Neural Network を用いたひび割れ・パッチングの高精度検出手法の開発，土木学会論文集 E1，Vol. 74，No. 3，I_131-I_139，2018.
- 7) 中山正純，堅多達也，三宅寿英，原田大樹：深層学習とファジィ C 平均識別器を組み合わせた舗装のひび割れ評価，第34回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp571-573，2018.
- 8) 金邦釘，橋本和明，片岡望，蔵本直弥，大賀水田生：ナイーブベイズ法によるアスファルト舗装撮影画像からのひび割れ自動検出手法，土木学会論文集 E1，Vol. 70，No. 3，I_I-I_8，2014.
- 9) 金邦釘，橋本和明：アスファルト舗装撮影画像からのひび割れ半自動検出システムの開発，土木学会論文集 E1，Vol. 71，No. 3，I_31-I_38，2015.
- 10) 蔵本直弥，金邦釘：決定木によるアスファルト舗装ひび割れの検出，土木学会論文集 A2，Vol. 71，No. 2，I_823-I_830，2015.
- 11) Timo Ojala, Matti Pietikäinen, David Harwood. : A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions, Pattern Recognition 29(1), pp.51-59, 1996.
- 12) 小枝正直，上田悦子，中村恭之：OpenCV による画像処理入門 改訂第2版，講談社，2017.
- 13) Paul Viola and Michael J. Jones. : Robust real-time face detection, International Journal of Computer Vision, 57(2), pp137-154, 2004.
- 14) 加藤祐也：顔向きにロバストな顔検出・顔認識，大阪府立大学卒業研究論文，2011.
- 15) 白鳥則郎：画像処理（未来へつなぐデジタルシリーズ28），共立出版，2014.
- 16) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2019.

表-2 路面性状測定車撮影画像への適用結果

	フィルタ なし (%)	教師データを ヒストグラム 平均化 (%)	入力，教師データ 共にヒストグラム 平均化 (%)
平均検出率	69.6	71.1	68.8