

令和 5 年 4 月 28 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11879

研究課題名（和文）教師ラベルの無い地中レーダ画像を積極的に利用した社会インフラ劣化診断AIシステム

研究課題名（英文）Social Infrastructure Deterioration Diagnosis AI System Actively Using Ground Penetrating Radar Images Without Teacher Labels

研究代表者

木本 智幸（kimoto, Tomoyuki）

大分工業高等専門学校・電気電子工学科・教授

研究者番号：30259973

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：高度経済成長期の建設ラッシュで作られた道路や橋などの交通インフラが、50年の経過で老朽化が進み、陥没や崩壊などの事故を起きるようになってきている。これらを未然に防ぐ必要があるが、全国にある道路や橋は膨大な数が存在するため、効率的に内部の空洞等の危険因子を見つけ出す必要がある。本研究では、地中内に向けて電波を発射し、地中内からの反射波をAIで識別することで、地面内部に生じた空洞等の危険因子を高精度に識別するシステムの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

道路などの社会インフラの大規模劣化が進んでいるわが国では、低コスト、高速かつ高精度で識別し、ピンポイントで修繕が必要な部分を探し出す必要がある。そこで、本研究では、電磁波や音波を用いた非破壊検査で、社会インフラの劣化診断を行う手法の高精度化を試みた。その結果、従来法より識別精度を向上させることができることが分かってきた。これにより修正に必要な税金を抑えることができたり、危険箇所を早期に特定して未然に事故が発生するのを防いだりする方向に前進したことになる。

研究成果の概要（英文）：Transportation infrastructure such as roads and bridges, which were built during the construction boom during the period of high economic growth, has deteriorated over the past 50 years, leading to accidents such as cave-ins and collapses. Although it is necessary to prevent these from occurring, since there are a huge number of roads and bridges all over the country, it is necessary to efficiently find problems such as internal cavities. In this research, by emitting radio waves into the ground and using AI to identify the reflected waves from the ground, we developed a system that can accurately identify risk factors such as cavities that occur inside the ground.

研究分野：AI応用

キーワード：地中レーダ 劣化診断 ディープラーニング 教師無し学習

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期の建設ラッシュで作られた道路や橋などの交通インフラが、50年の経過で老朽化が進み、陥没や崩壊などの事故を起さるようになってきている。これらの事故を未然に防ぐ必要があるが、全国にある道路や橋は膨大な数が存在するため、高速かつ低コストで内部の空洞を見つけ出す必要がある。これまでに電磁波を地中に打ち込んで返ってくる反射波を画像化した地中レーダ画像を見て地中を検査する地中探査レーダが利用されているが、反射が返ってくるのは道路内部の空洞だけでなく、非危険因子の埋設管なども存在するため、これらの識別も必要となっていた。

この識別は、熟練技術者でも困難であるため、これまでに研究代表者チームは、ディープラーニングを用いてレーダ画像をAIに学習させて識別させる方法に取り組んできた。レーダ画像をAIで識別させる場合、それが空洞からの反射であるか、非危険因子の埋設管や石ころからのものであるかを教師あり学習する必要があるが、そのために正解ラベルは掘って調べるしかないレーダ画像では、画像を大量に準備することが難しい問題と直面していた。

2. 研究の目的

空洞のある場合のレーダ画像と埋設管などの非危険因子が埋設されている場合のレーダ画像をAIに教師あり学習させるにあたり、正解ラベル付き画像が大量には手に入らないため使える枚数を増やすことができなかった。地中レーダ画像自体は、正解ラベルを必要としなければ、地面を走査させるだけなので、大量に入手できる。この正解ラベルが無いレーダ画像は従来の教師あり学習では役に立たなかったが、これを使って識別精度向上に役立てられないかというのが、本研究の目的である。また、電磁波を使った地中レーダで説明してきたが、音波を用いた音波反射による研究も同時並行で行う。電波や埋設物の誘電率の差で反射が起き、音波の場合は埋設物の密度の差で反射が起きるため、両方を使うことで、検査精度を向上させたり、検査範囲を拡大できたりすることが期待される。

3. 研究の方法

正解ラベルの無いデータを利用するために、図1に示すように変分オートエンコーダ(VAE)を用いて、大量のレーダ画像を学習させることで、学習データの構造に応じて低次元の潜在変数 Z にマッピングし直す。この際、同じ誘電率のレーダ画像は近い潜在変数空間に配置されクラスタリングが実現できるのであれば、このクラスに少量の正解ラベル付きデータでラベル付けを行うことで、識別が実現できることになる。こうして得られた識別装置の識別精度が、少量の正解ラベル付きレーダ画像をCNNに直接学習させた場合に比べてどの程度改善されるかを調べる。識別精度の確認には、正解ラベル付き画像が必要となるため、別途、FDTD法による物理シミュレーションで正解ラベル付きレーダ画像を作っておき、この一部を学習に用いたり、検証に用いたりする。

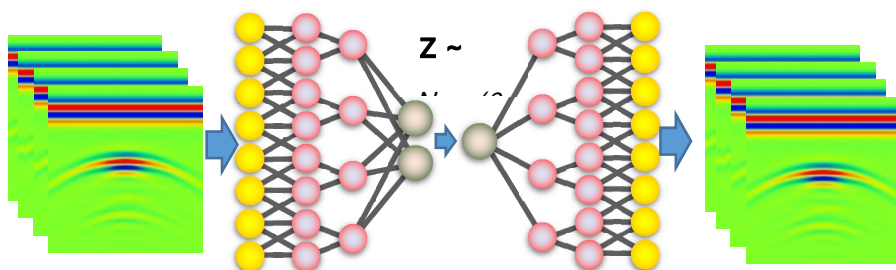


図1. VAEによる地中レーダの教師無し学習

また、音波による検証は主にコンクリートの破壊検査とする。音波を使うメリットは、骨材や鉄筋がコンクリートとあまり反射率が変わらず、亀裂などによる空洞が大きな反射となって現れるため、地中レーダに比べて亀裂だけを識別がしやすいことである。そこで、健全状態のコンクリートの反射波形をオートエンコーダで学習させて反射波形を再構成できるようにしておき、一方で、亀裂の入ったコンクリートの反射画像は、未学習であるため再構成できないようにしておき、再構成誤差を見ることで亀裂があるかを発見するようにする。

4. 研究成果

実験の結果を報告する。まず、地中レーダによる実験では、空洞や埋設管などを様々なサイズや位置に埋めた場合のレーダ画像を、38400枚のFDTDレーダ画像を生成し、VAEでクラスタリングし、120枚分の正解ラベルありレーダ画像でラベル付けを行う。潜在変数がクラスタリングできているか確認した。結果を図2に示す。誘電率毎に色付けしてみるとクラスタリングされてい

ることが分かる。

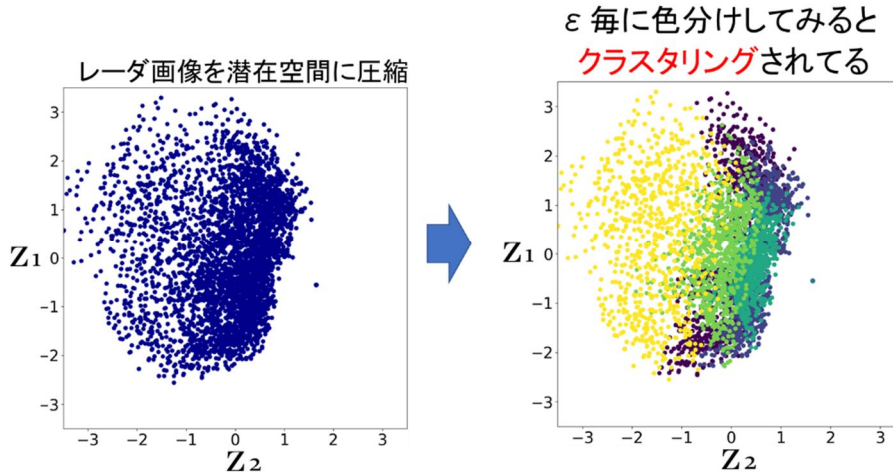


図2 . VAE によるクラスタリングの結果

よって、この潜在変数に少量の正解ラベルを使ってラベル付けすれば、埋設物の誘電率が識別できることとなる。図3にラベル付けをした場合の識別率を示す。

まず、120枚の正解ラベル付きレーダ画像でラベル付けをした場合の識別率は82%であった。一方、120枚分の正解ラベルありレーダ画像をCNNで学習させて、38400枚をテストした場合の正解率は65%であった。VAEによるクラスタリングが識別率向上に効果を出していることが分かる。学習に用いる正解ラベル付き画像が増えると識別率が向上し、360枚の正解ラベル付き画像でラベル付けした場合の識別率が90%で、CNNを使った場合に82%となった。さらに正解ラベル付き画像を増やして2160枚にすると、逆にVAEよりもCNNの方が識別率が上回った。正解ラベル付き画像が多くなると、通常の教師あり学習を行った方が効果的であることが分かる。地中レーダは正解ラベルを調べるのが難しいので、正解ラベル付きデータが少数しか準備できない。そのため本研究手法は、まさに地中レーダ画像からの埋設物識別で有効性があると言える。

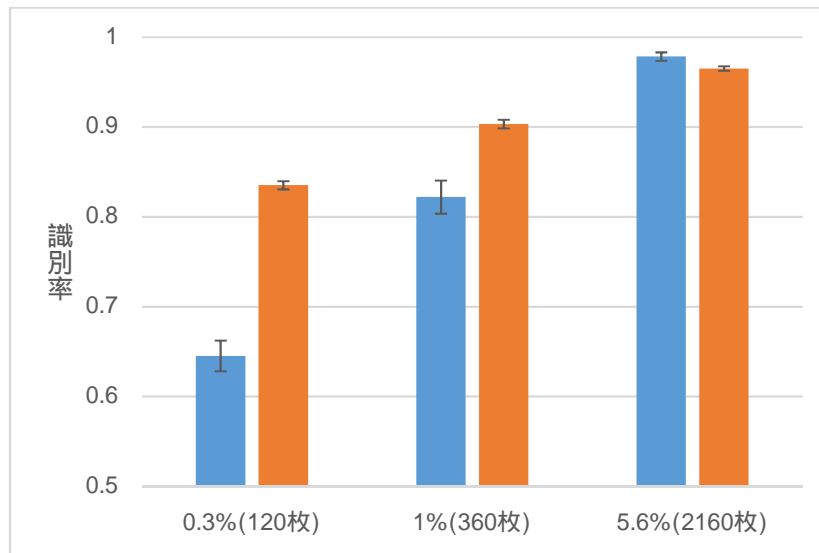


図3 . 水色がCNNで学習した場合、オレンジ色がVAEでクラスタリングした場合

これとは別に、音波によるコンクリートの亀裂検出でも、ほぼ100%に近い検出が可能であった。

以上の実験は、実験室レベルでの結果であるため、今後、現場での精度を調査し、性能を高めていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山本佳士, 光谷和剛, 金澤靖, 徳重海都, 園田潤, 木本智幸	4. 巻 3
2. 論文標題 準3次元情報を用いたpix2pixによるレーダ画像からの内部欠陥の幾何情報推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 1042-1052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 内藤英樹, 木本智幸, 藤岡光, 藤倉修一, 運上茂樹	4. 巻 3
2. 論文標題 振動測定とオートエンコーダによるRC部材の地震時損傷の検知	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 134-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山本佳士, 光谷和剛, 園田潤, 木本 智幸	4. 巻 2021年2巻J2号
2. 論文標題 GANおよびFDTD法を用いたレーダ画像からの内部欠陥推定手法の高度化に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 700-711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.2.J2_700	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 園田潤, 木本智幸	4. 巻 J104-C
2. 論文標題 敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による地中レーダ画像のモデル逆推定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 pp.60-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 光谷和剛, 山本佳士, 園田潤, 木本智幸	4. 巻 2021巻1号
2. 論文標題 レーダ画像およびGANを用いたコンクリート内部欠陥の位置・寸法情報の可視化に関する基礎的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本計算工学会論文集	6. 最初と最後の頁 pp.20211001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 光谷和剛, 山本佳士, 園田潤, 木本智幸	4. 巻 2020年1巻J1号
2. 論文標題 レーダ画像およびGANを用いたコンクリート内部欠陥の幾何情報推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 pp.498-507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 内藤英樹, 木本智幸, 藤岡光, 藤倉修一, 運上茂樹
2. 発表標題 振動測定とオートエンコーダによるRC部材の地震時損傷の検知
3. 学会等名 AI・データサイエンスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木本智幸, 新野稜, 園田潤
2. 発表標題 深層学習を用いた地中レーダ画像の識別精度向上法
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳重海都, 金澤靖, 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 地中レーダ画像の補間を用いた地中物体認識
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本佳士, 光谷和剛, 金澤靖, 徳重海都, 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 準3次元情報を用いたレーダ画像およびGANによるコンクリート内部のひび割れ可視化
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 園田潤, 山本佳士, 木本智幸, 金澤靖
2. 発表標題 FDTDシミュレーションと敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による電磁波レーダ画像のコンクリート亀裂推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸, 山本佳士, 金澤靖
2. 発表標題 地中レーダによる空洞亀裂検出のための補修造影剤のFDTDシミュレーションによる検討
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木本智幸
2. 発表標題 社会インフラ劣化診断や工業製品外観検査へのディープラーニングの応用
3. 学会等名 九州大学2021年度 総理工セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木本智幸, 新野稜, 園田潤
2. 発表標題 深層学習を用いた地中レーダ画像の識別精度向上法
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 園田潤, 金澤靖, 木本智幸
2. 発表標題 深層学習によるUAV画像からの海岸漂着物検出と広範囲長期観測
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 園田潤, 金澤靖, 水原宝英, 木本智幸
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による海岸漂着物の識別
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木本智幸, 多賀大貴, 園田潤
2. 発表標題 深層学習による地中レーダ画像識別において少数の正解ラベルしか得られない場合の識別率向上
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多賀大貴, 木本智幸, 園田潤
2. 発表標題 AIで地中レーダ画像を高精度に識別するための地中レーダや地中媒質の違いに対応する学習画像の生成
3. 学会等名 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸, 山本佳土, 金澤靖
2. 発表標題 電磁波レーダを用いた空洞亀裂検出における補修造影剤の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会,
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木本智幸, 園田潤
2. 発表標題 地中レーダによる埋設物識別においてラベルの無いレーダ画像を有効利用した識別性能の改善
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸, 金澤靖
2. 発表標題 複合リモートセンシングと深層学習を用いた海洋プラスチックの自動検出
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本佳士, 光谷和剛, 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 レーダ画像および敵対的生成ネットワークを用いたコンクリート内部欠陥の詳細情報の推定
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 電磁波レーダ装置および電磁波レーダ装置の学習法	発明者 園田 潤, 木本 智幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-042833	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	園田 潤 (Sonoda Jun) (30290696)	仙台高等専門学校・総合工学科・教授 (51303)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------