

地中レーダとAIによる高精度 社会インフラ自動診断システムの開発

大分高専 電気電子工学科
教授 木本智幸

令和2年12月17日

従来技術とその問題点

✓ 高度経済成長期から50年経過で社会インフラが劣化

• 道路内部の検査
→ 地中レーダ



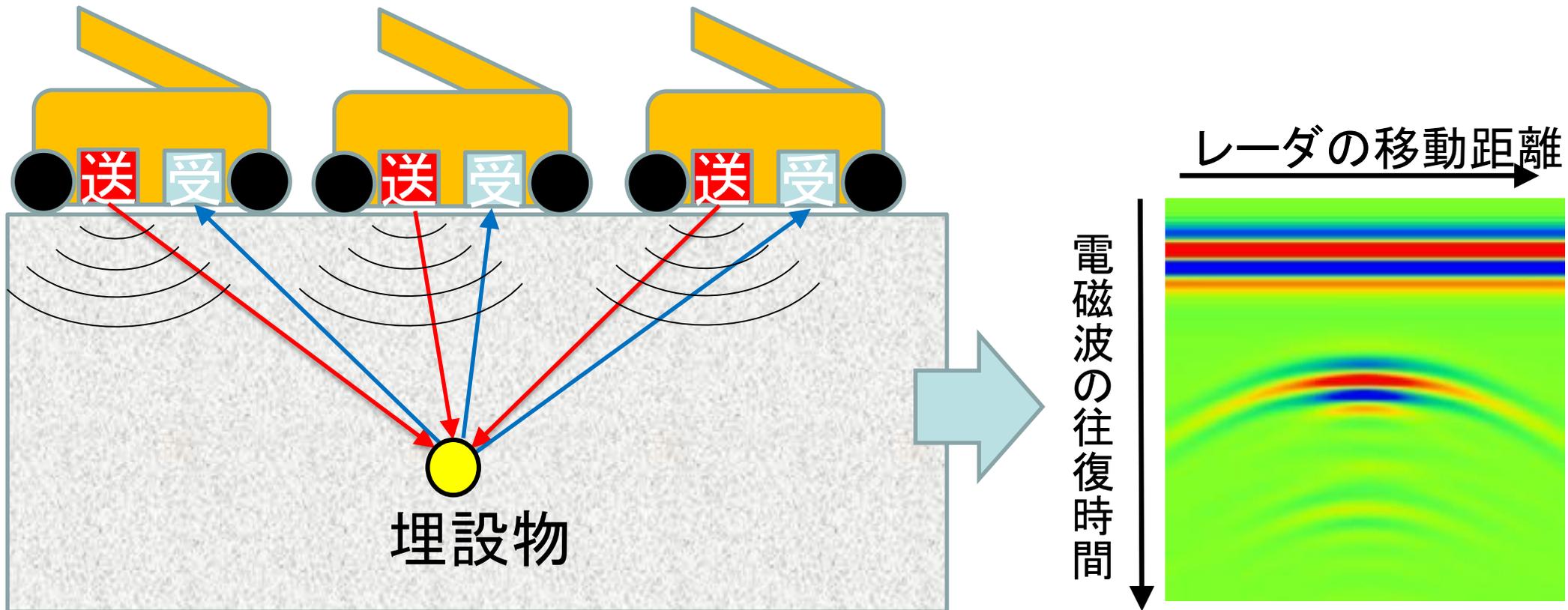
• コンクリート内部の検査
→ コンクリートレーダ

※打音検査だと可能深度は10cm



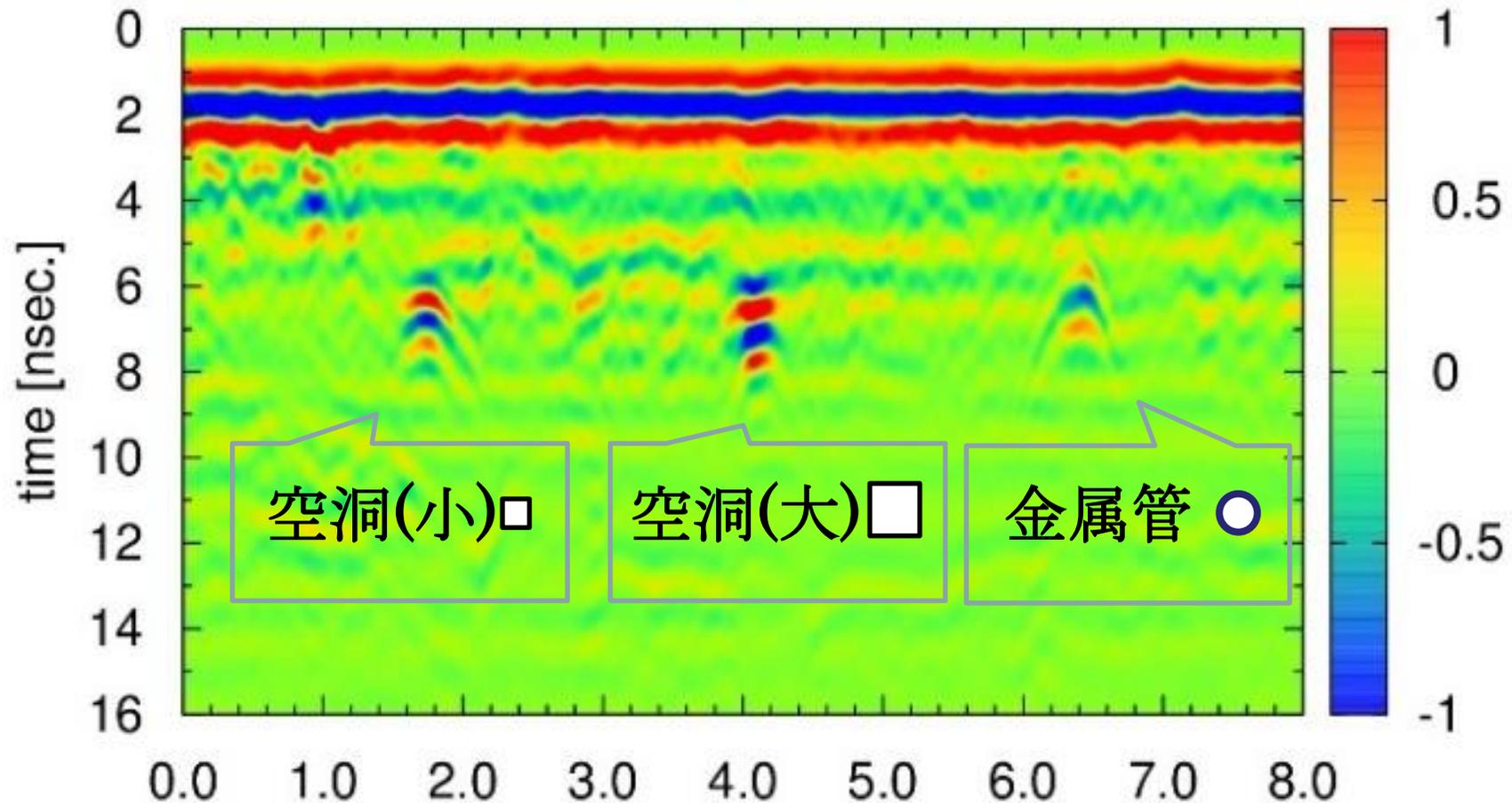
従来技術とその問題点

地中レーダは埋設物に当たった電波の反射をみている。
レントゲンの様に物体そのものの形が見えるわけではない



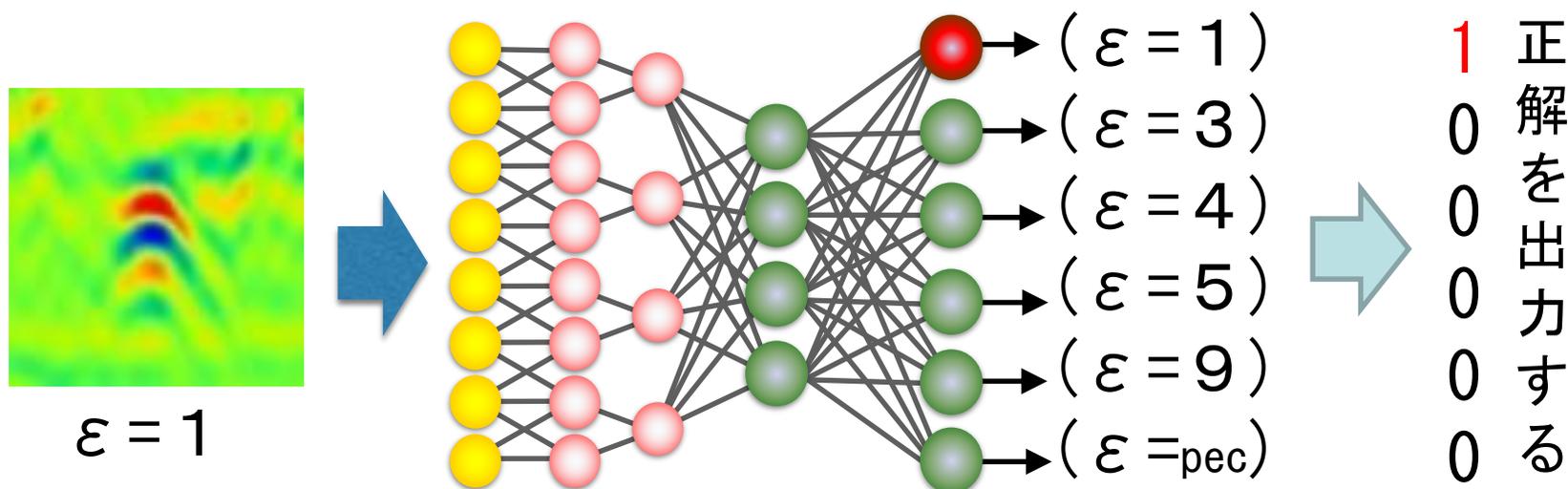
従来技術とその問題点

- 危険因子の空洞か、それ以外の石や埋設管が見抜きたい
⇒ 熟練技術者でも空洞正解率40～70%



従来技術とその問題点

AI(ディープラーニング)を使って空洞正解率を高めよう

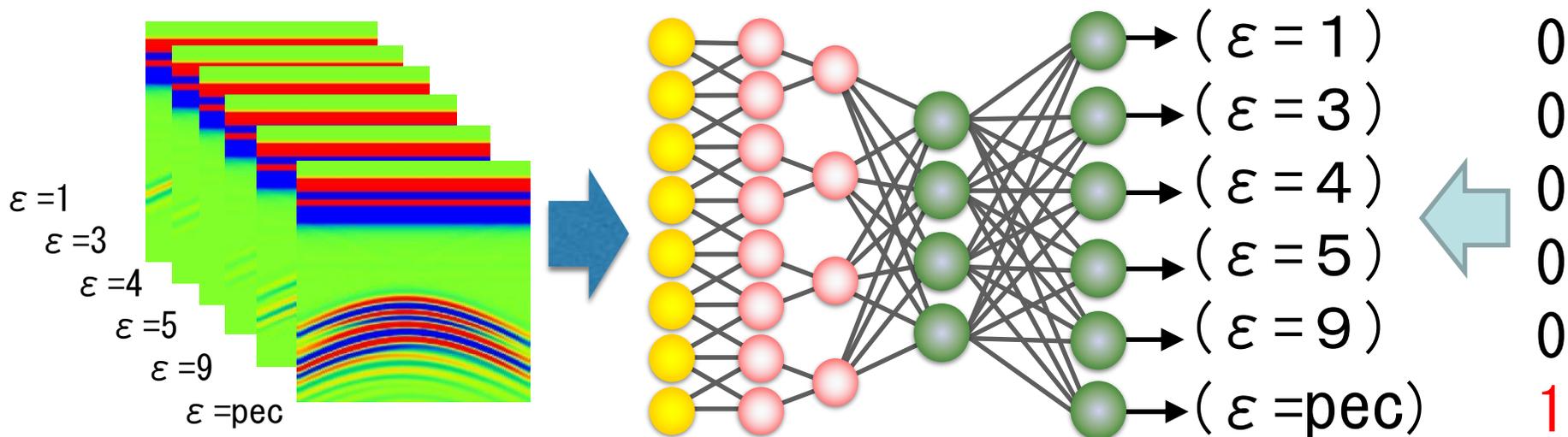


現在は熟練技術者がレーダ画像を見ているので、2kmの道路検査で10日以上かかっている

⇒ AIを使えば自動車で走行しながら識別することが可能

従来技術とその問題点

AI は学習で識別能力を獲得する



AIを学習させるには、レーダ画像と埋設物の誘電率がいくらであるかの正解ラベルのデータセットが**大量**に必要。

⇒ 何が埋まっているかの正解ラベルは、掘らないと分からない。コストが掛かりすぎる

⇒ 熟練技術者の不確かな識別結果(正解率40%~70%)に頼るしかなかった

新技術の特徴・従来技術との比較

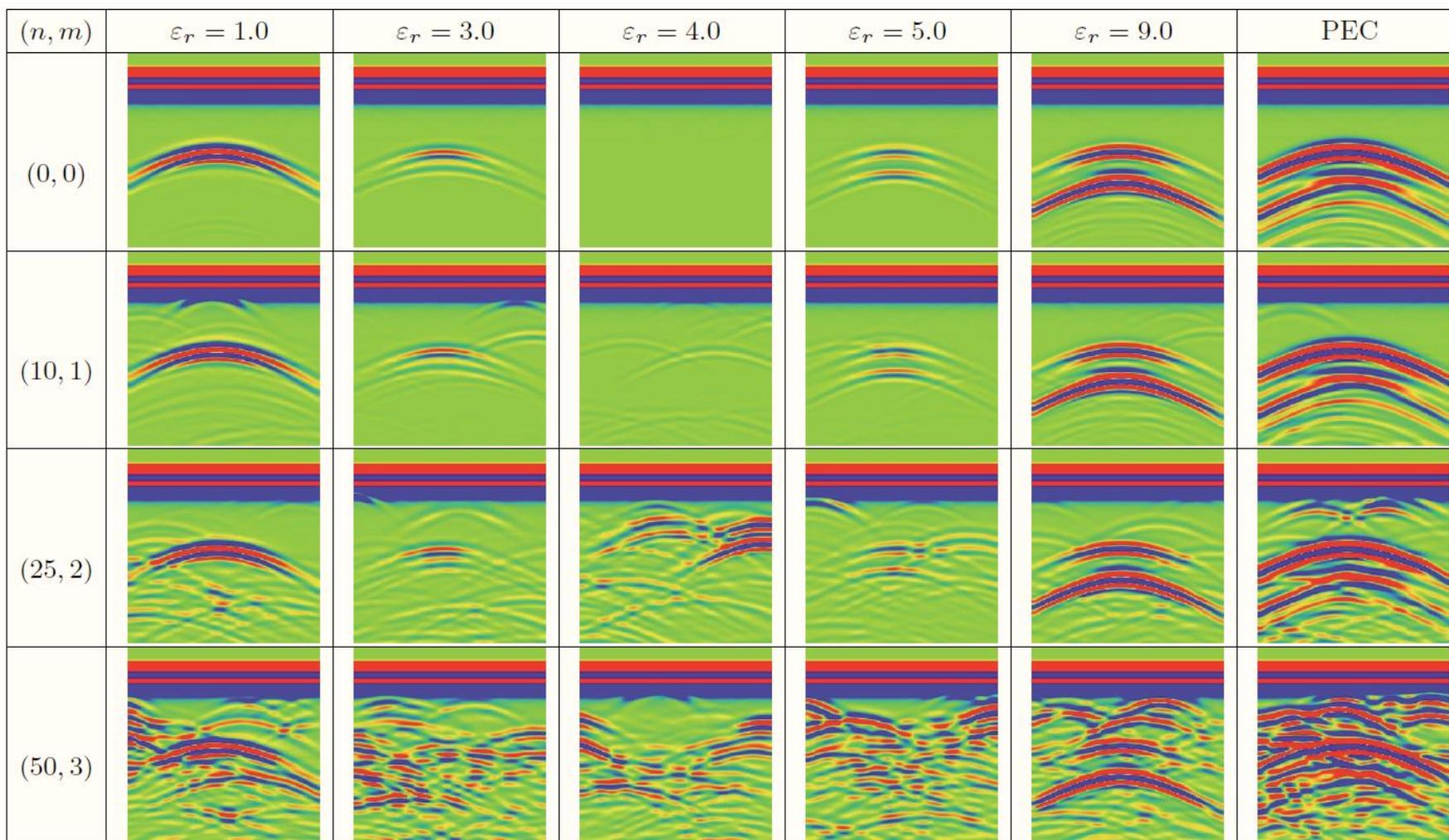
サイズ	$\epsilon=1$	$\epsilon=3$	$\epsilon=4$	$\epsilon=5$	$\epsilon=9$	完全 導体
w 5 h 5 l 5						
w 10 h 10 l 10						
w 15 h 15 l 15						

FDTD法による物理シミュレーションで画像を生成

- ⇒ シミュレーションなので正解が分かる
- ⇒ 様々な条件の埋設に対するレーダ画像を大量生成可

新技術の特徴・従来技術との比較

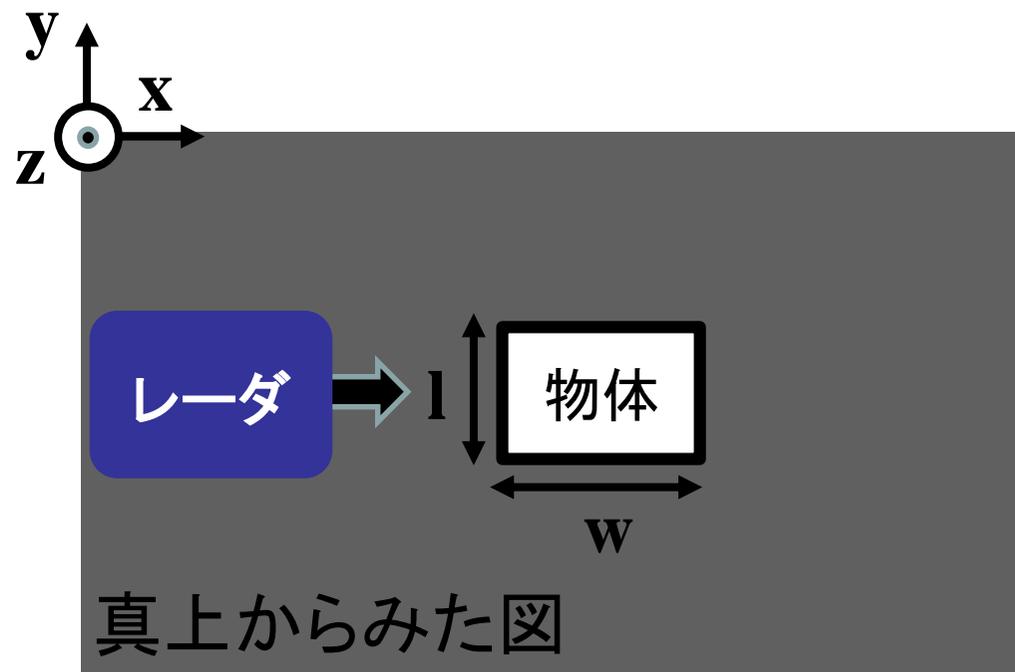
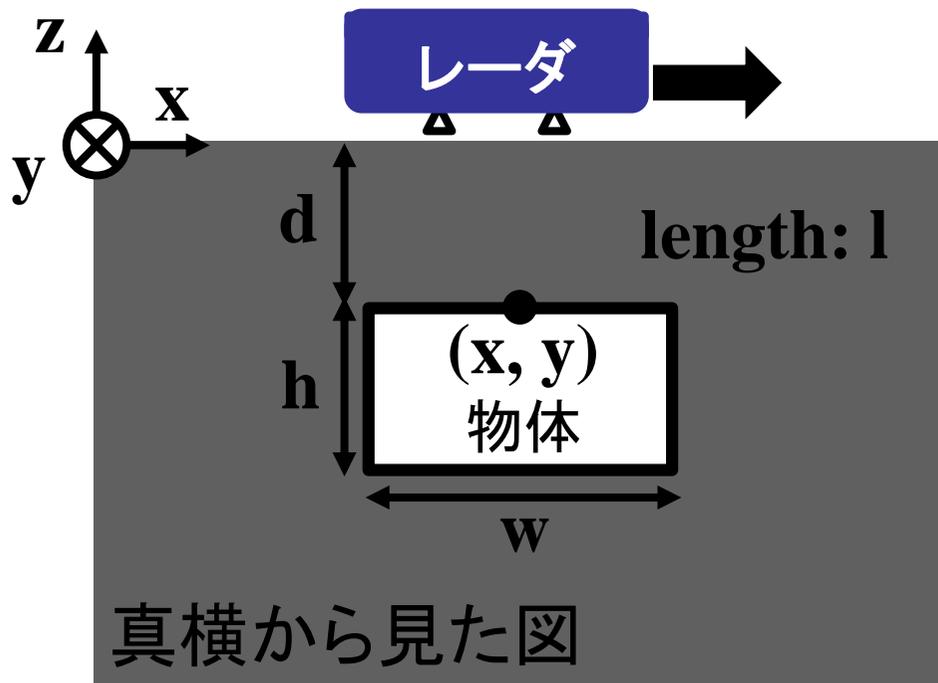
小石等の散乱体がある土壤のレーダ画像も作れる



新技術の特徴・従来技術との比較

- ・媒質の比誘電率 $\epsilon = 4$
- ・埋設物の比誘電率 $\epsilon = 1, 3, 4, 5, 9$, 完全導体の6種類
- ・幅 $w \times$ 奥行 $l \times$ 厚み $h = (5, 10, 15, 20)^3$ cm
- ・ $x = (-20, -10, 0, 10, 20)$ cm $y = (-20, -10, 0, 10, 20)$ cm
 $d = (20, 30, 40, 50)$ cm

◆ 合計38400枚の画像をFDTD法で生成



新技術の特徴・従来技術との比較

FDTD法は計算量が膨大であるため、38400枚の生成には膨大な時間がかかる。

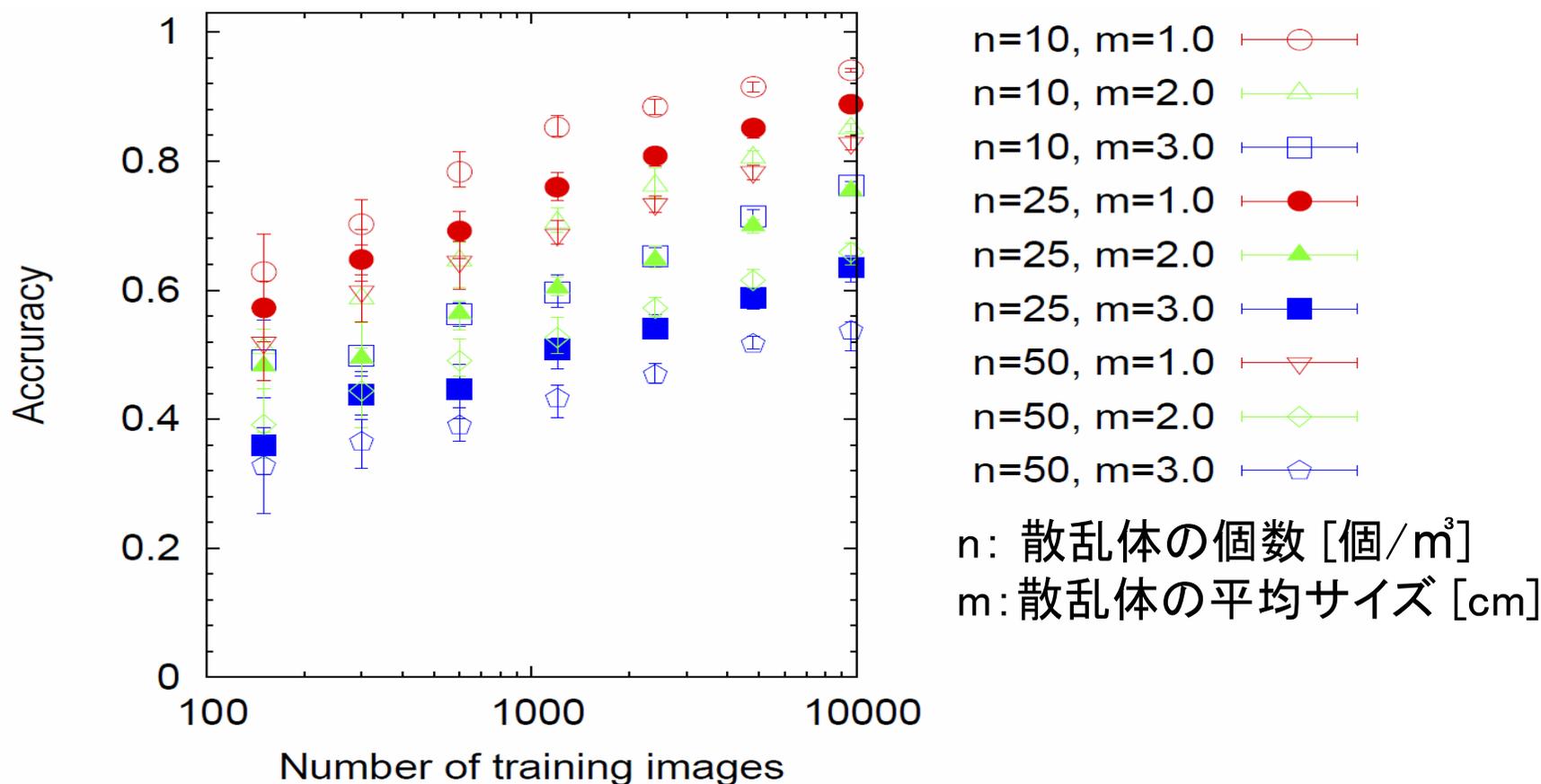
⇒ GPU (NVIDIA Tesla K20m) を64基搭載した計算機を構築

⇒ 画像枚数が万枚単位だとハイスペックCPUでも年単位の時間が掛かるが、2週間で生成



新技術の特徴・従来技術との比較

$\varepsilon = 1, 3, 4, 5, 9$, 完全導体 の6種類の識別結果
 ※作った画像を小規模CNN(5層)で試した識別結果



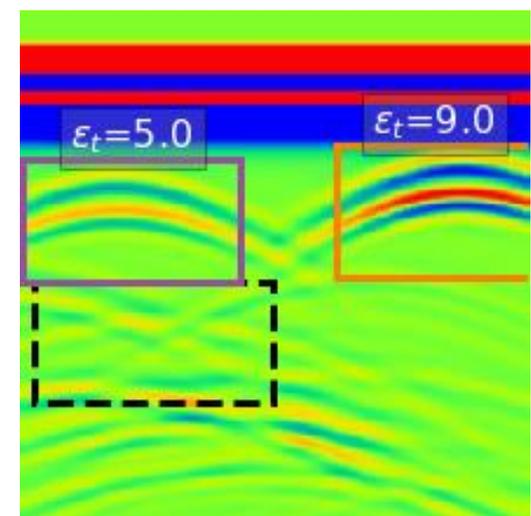
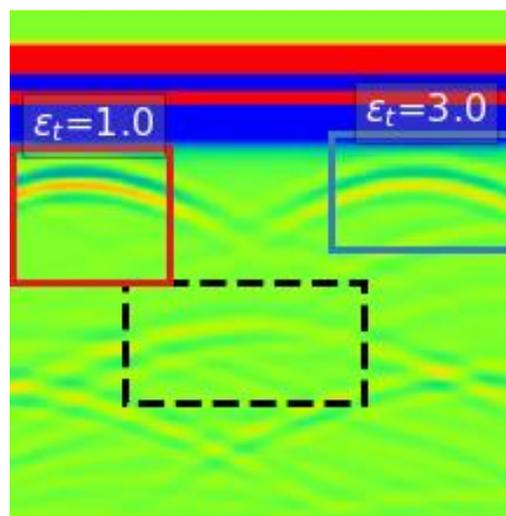
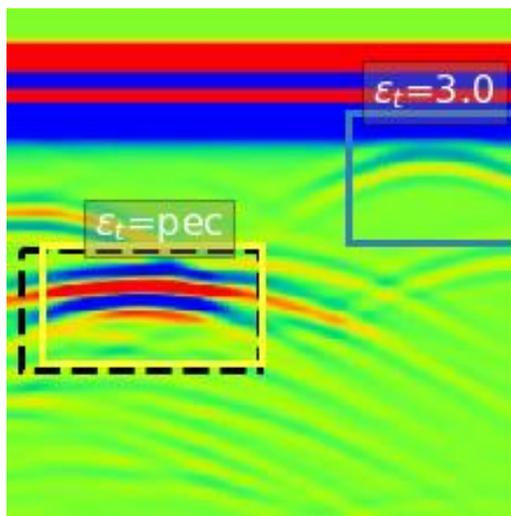
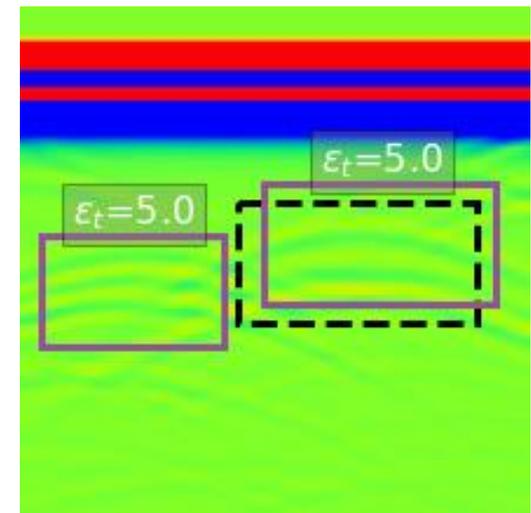
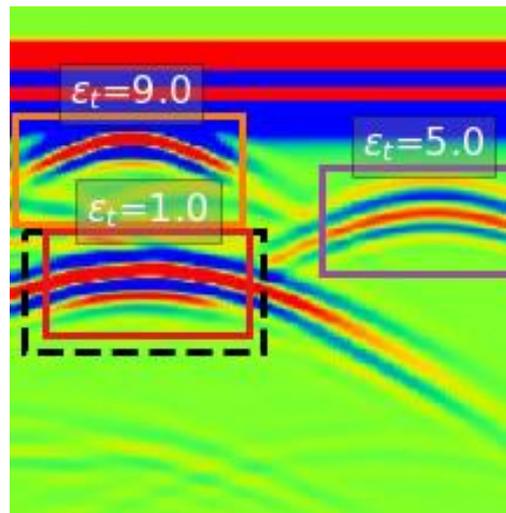
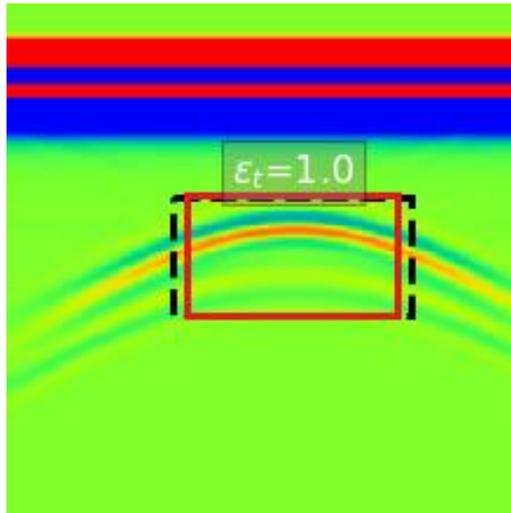
熟練技術者でも空洞か否かの2択で40%~70%

本技術: 散乱体が少なければ、6種類識別で90%

新技術の特徴・従来技術との比較

生成画像を複数物体を検出するAIに学習させれば、同時検出も可能

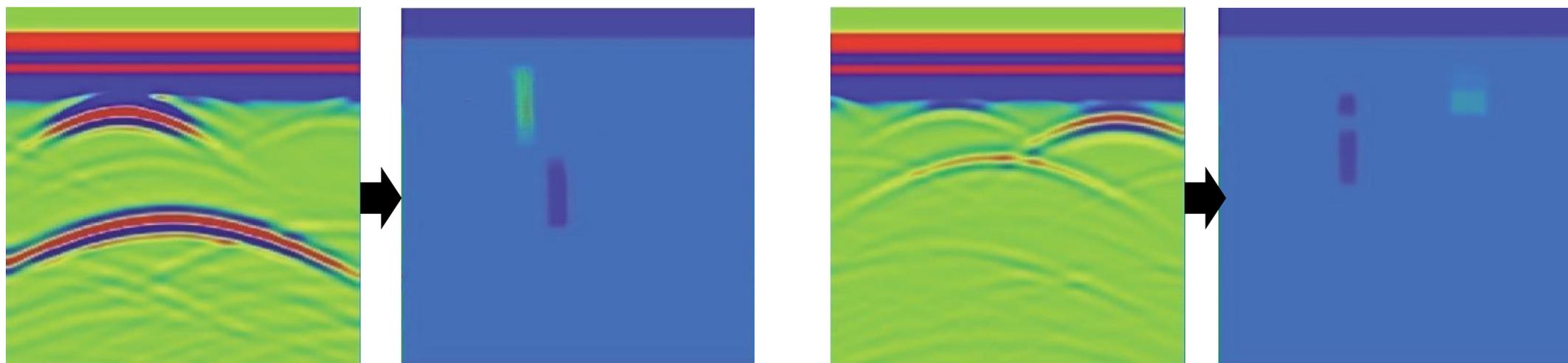
※計算機シミュレーションで作った画像で試した結果



新技術の特徴・従来技術との比較

レーダ画像と埋設物体の実態図をAIで関連付け
学習すれば、逆問題推定

※計算機シミュレーションで作った画像で試した結果



レーダ画像

復元画像

レーダ画像

復元画像

埋設物の形状と誘電率(緑/青)を推定している例

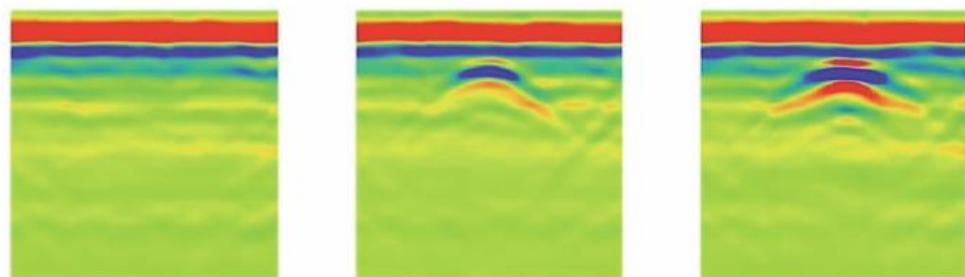
想定される用途

- 道路下やコンクリート内部の劣化診断
- 自然災害における行方不明者捜索の捜索場所の絞り込み

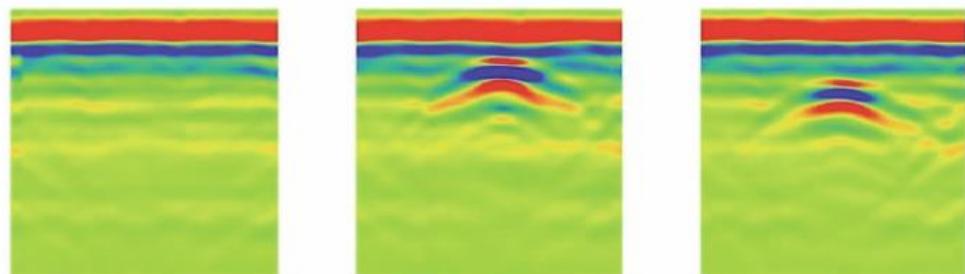


ボランティアの方による行方不明者捜索活動

実用化に向けた課題



深さ 12 cm にある幅 7, 14, 21 cm の空洞

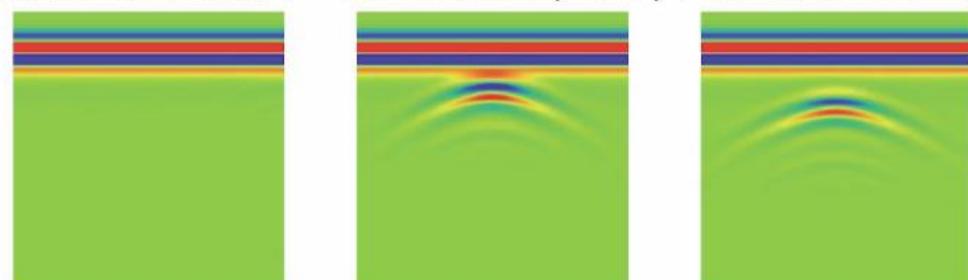


深さ 12, 18, 24 cm の幅 14 cm の空洞

現場でのレーダ画像



深さ 12 cm にある幅 7, 14, 21 cm の空洞



深さ 12, 18, 24 cm の幅 14 cm の空洞

FDTD法で生成したレーダ画像

課題①: 現場の画像と生成画像が完全に一致しない

現場毎に地面の誘電率や散乱体の状態が異なるため

課題②: 地中レーダの製品毎に発射する電波の周波数や

波形が異なるため、製品毎にFDTD法で画像生成が必要

※現在、改善法を研究中

企業への期待

- ・実際の現場環境での実証実験を期待：

簡単に掘れないので、実現場で検証をするのも容易ではない。ショベルカーが必要

- ・性能改善に必要な現場のレーダ画像の提供を期待：

AIの識別性能改善には実現場のレーダ画像が補助的に必要。既知のものを埋めて、土壌がなじむまで時間をおいた後、レーダ画像を取得

企業への期待

- 高精度・高速化のために、レーダ自体を設計開発してくれる企業を期待

高精度化 ⇒ 市販レーダはアンテナ等の物理定数をメーカーが提供してくれないため、FDTDシミュレーションが正確に実施できない

高速化 ⇒ リアルタイムデータ取り出しができる市販レーダが存在しないため、走行しながらの検査ができない

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 学習データ生成方法および
これをを用いた対象空間状態認識方法
- 登録番号 : 特許第6737502号
- 出願人 : 国立高等専門学校機構
- 発明者 : 園田潤、木本智幸

お問い合わせ先

国立高等専門学校機構

本部事務局 研究推進課

TEL : 03-4212-6821

FAX : 03-4212-6810

Mail : KRA-contact@kosen-k.go.jp

URL : <https://www.kosen-k.go.jp/>