(50) オープンソース空中写真を用いた交差点構成要素の自動識別手法の構築

岸　嵩人[1]・塩見　康博[2]

[1]非会員　立命館大学大学院　理工学研究科（〒525-8577 滋賀県草津野路東 1-1-1）
E-mail: ce0020rh@kankyousystem.jp

[2]正会員　立命館大学　理工学部（〒525-8577 滋賀県草津野路東 1-1-1）
E-mail: shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

本研究では，志野・塩見 [1)]によって提案された特車通行可否判定手法に適用するための交差点平面図を生成する手法を提案するものである．既往研究 [2)]により 5cm 解像度の空中写真にセマンティックセグメンテーション（SS）を適用することで，高精度に道路部・歩道部・横断歩道・区画線・中央分離帯・オクルージョン物体などを識別した平面図生成が可能であることが示されている．本稿ではその汎用性を高めるためオープンソース空中写真を用いて精度向上を目指した．具体的には，Real-ESRGAN を用いてオープンソース空中写真の解像度を高め，それに 5cm 解像度空中写真によって学習された SS モデルである SegFormer-B5 を適用した．結果としては，オープンソース空中写真のセグメンテーション画像の作成における精度比較において，Real-ESRGAN による高解像度化の有効性を示した．

Key Words: *open-source aerial photographs, special vehicle, deep learning, semantic segmentation*

1. はじめに

近年の物流需要の増加やドライバー不足などによるトラック車両の大型化により，特殊車両が増加している．特殊車両が道路を通行する際には特殊車両通行許可申請が必要になる．しかし，特殊車両通行許可申請件数が年々増加し，令和元年 11 月時点で平均 28.8 日の審査期間を必要としている [3)]．これは効率的な物流を目指すにあたり，重要な課題であり，審査期間の短縮が必要不可欠である． 特殊車両通行許可の自動化・簡素化を目指すにあたり，道路の通行可能領域及び停止線，横断歩道等が正確に示された交差点平面図が重要となる．

また，交差点改良や自動運転の実現に向けても交差点平面図は重要であると考えられるが，こうした図面は直轄国道で整備されていても地方道では電子データ化が遅れているというのが現状である．

塩見ら [2)]は国内における効率的で柔軟かつ安定した陸上輸送を実現するため，特車の通行条件判定の効率化を行うための諸技術の開発，およびそれを前提とした特車フリーネットワーク計画手法の構築に取り組んだ．その中で，地上解像度 5cm の空中写真を用い，セマンティックセグメンテーションによって交差点構成要素の自動抽出を様々なモデルを用いて行い，精度評価を行った．しかし，地上解像度 5cm の空中写真を使用する場合，全国的な整備を考えるとコストが膨大となる．また，各自治体が公開している空中写真は地上解像度 10～20cm のものが多く，これらの画像や Google マップを用いた交差点構成要素の抽出は行われていない．そこで，本研究では，空中写真からセマンティックセグメンテーションによる交差点構成要素の自動識別において，各自治体が公開している空中写真や Google マップなど，汎用性・利用可能性の高い交差点平面図の活用を考える．具体的には，セマンティックセグメンテーションを行う上で，使用する画像の解像度は作成するセグメント画像の精度に大きく影響するため，解像度を高める手法について考える．

2. 使用データ

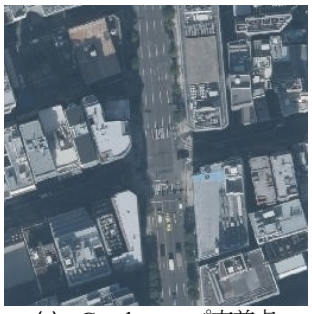
本研究では，国際航業株式会社が撮影した高解像度オルソ画像，自治体が公開している空中写真，Google マップを使用した．高解像度オルソ画像は地上解像度 5cm の空中写真で，1 メッシュ当たり 8000×6000(pixel)の画像である．対象地域は高解像度オルソ画像，自治体が公開している空中写真，Google マップで同じ地点の画像が得られる大阪府大阪市中央区とした．



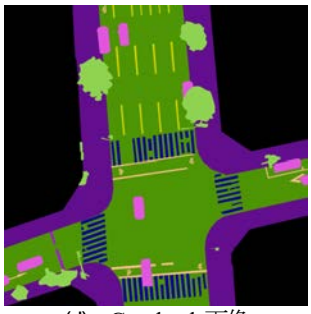
(a) 地上解像度 5cm 交差点画像



(b) 自治体交差点画像



(c) Google マップ交差点画像



(d) Grand truth 画像

図-1 各画像の例

本研究では，地上解像度 5cm，つまり地上の 5cm 四方で囲まれた部分が画像上の 1pixel で表される空中写真を使用する．また自治体が公開している空中写真や Google マップの解像度について記されていない場合，目視にて幅 15cm の白線に相当する pixcel 数を確認し，解像度を判断した．その結果，自治体が公開している空中写真は地上解像度 20cm 相当，Google マップは地上解像度 7cm 相当であることを確認した．これら全ての画像から交差点部分をトリミングした画像を学習データとした． トリミングのサイズは既往研究と同様に 1024×1024(pixel)とし，自治体が公開している空中写真や Google マップのトリミングサイズは元画像の大きさに合わせ，1 交差点が 1 画像に含まれるように 512×512(pixel)や 256×256(pixel)で調整しトリミングした．交差点画像・クラスごとにセグメント化した Grand truth 画像の例を図-1(a)～(d)に示す．

3. 研究手法

(1) 使用するモデル

本研究では，2 章で示した自治体が公開している空中写真・Google マップから交差点部分をトリミングした交差点画像を使用した．深層学習の一種である GAN[4](敵対的生成ネットワーク)という画像生成技術を利用した Real-ESRGAN[5]という，オープンデータセット DIV2K により学習したモデルを使用し，自治体交差点画像と Google マップ交差点画像の超解像を行った．超解像による画像の前処理を行った交差点画像から，SegFormer-B5 モデルを用い，セマンティックセグメンテーションによってセグメント画像を作成し，その精度を評価した．分類クラスは背景，車道，歩道，区画線，中央分離帯，横断歩道，停止線，ゼブラゾーン，自動車，その他白線，オクルージョン部分の計 11 クラスとした．

表-1 TP，TN，FP，FN の定義

	正解ラベルが正	正解ラベルが負
予測ラベルが正	TP	FP
予測ラベルが負	FN	TN

(2) 評価指標

セマンティックセグメンテーションモデルにより作成したセグメント画像の定量評価をするために Accuracy（正解率）と Intersection over Union（IoU），および，クラスごとの IoU の平均値をとった mean IoU を用いた．以下にそれぞれの詳細を述べる．

a) Accuracy

Accuracy とは，予測領域全体の中の正解の割合を表した評価指標である．計算式は式(1)で表される．

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

TP，TN，FP，FN の定義については**表-1** に示す．

b) IoU

Intersection over Union (IoU)は，対象クラスごとに正解領域と予測領域がどの程度重なっているかを表す指標である．計算式は式(2)で表される．また，mean IoU (mIoU)は全てのクラスの IoU の平均を取ったものである．

$$IoU = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (2)$$

4. 実験結果

超解像による前処理を行わない場合と超解像処理を行った場合とで，セマンティックセグメンテーションによる予測結果の Accuracy と IoU を算出し，精度比較を行った．本研究では自治体交差点画像，Google マップ交差点画像ともに 15 地点でセマンティックセグメンテーションによる予測を行なった．

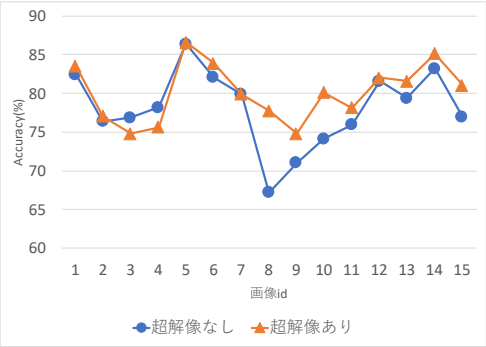


図-2　予測結果ごとの Accuracy(自治体画像)

表-2　予測結果の Accuracy の平均値(自治体画像)

	Accuracy(%)
超解像なし	78.1
超解像あり	80.1

表-3　予測結果のクラス別 IoU(自治体画像)

	IoU(%)				
	車道	歩道	区画線	中央分離帯	横断歩道
超解像なし	51.7	14.0	4.1	-	0
超解像あり	58.5	19.7	6.9	-	2.0
	IoU(%)				
	停止線	ゼブラゾーン	自動車	その他白線	オクルージョン
超解像なし	11.6	-	0	2.4	5.8
超解像あり	8.3	-	3.5	3.9	16.5

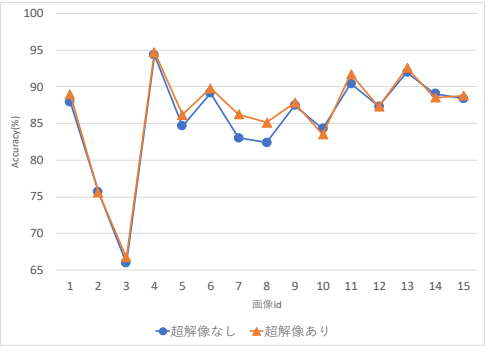


図-3　予測結果ごとの Accuracy(Google マップ交差点画像)

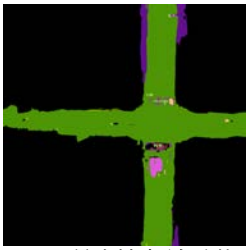
表-4　予測結果の Accuracy の平均値
(Google マップ交差点画像)

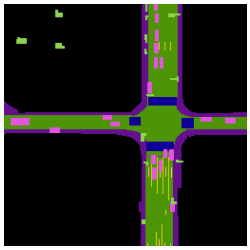
	Accuracy(%)
超解像なし	85.5
超解像あり	86.2

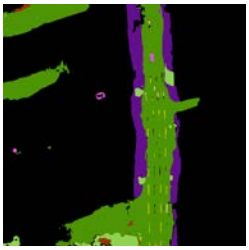
表-5　予測結果のクラス別 IoU(Google マップ交差点画像)

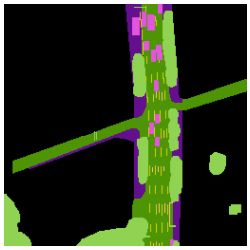
	IoU(%)				
	車道	歩道	区画線	中央分離帯	横断歩道
超解像なし	74.0	62.1	32.0	-	13.6
超解像あり	69.7	61.4	27.4	-	20.1
	IoU(%)				
	停止線	ゼブラゾーン	自動車	その他白線	オクルージョン
超解像なし	38.8	1.0	31.8	10.4	27.9
超解像あり	31.4	0.9	40.9	12.9	25.1

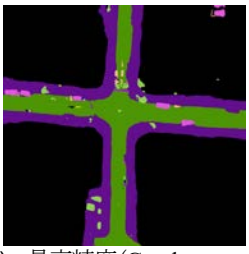



(a1)　最高精度(自治体交差点画像)

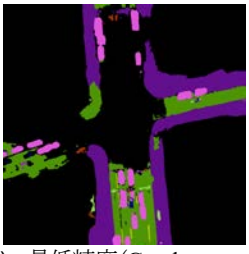

(a2)　正解画像


(b1)　最低精度(自治体交差点画像)


(b2)　正解画像


(c1)　最高精度(Google マップ交差点画像)


(c2)　正解画像


(d1)　最低精度(Google マップ交差点画像)

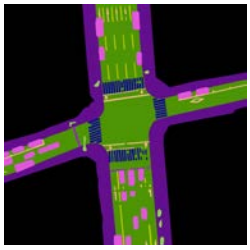

(d2)　正解画像

図-4　セグメンテーションの結果の例

表-6　予測結果の mIoU

		mIoU(%)
地上解像度 5cm 空中写真		81.4
自治体交差点画像	超解像なし	10.6
	超解像あり	14.3
Google マップ交差点画像	超解像なし	39.4
	超解像あり	39.5

(1) 実験結果まとめ

自治体交差点画像 1 枚ごとの予測結果の Accuracy を**図-2** に，Accuracy の平均値を算出した結果を**表-2** に，予測結果のクラス別 IoU の算出結果を**表-3** に示す.

Google マップ交差点画像 1 枚ごとの予測結果の Accuracy を**図-3** に，Accuracy の平均値を算出した結果を**表-4** に，予測結果のクラス別 IoU の算出結果を**表-5** に示す．なお，画像内に該当クラスが存在しない場合，IoU は算出できないため，数値を記載していない.

また，ぞれぞれの交差点画像から作成したセグメンテーション画像の中で，最高精度と最低精度だったセグメンテーション画像と正解画像を**図-4**(a1)～(d2)に示す.

(2) 地上解像度 5cm 空中写真との精度比較

地上解像度 5cm 空中写真，自治体が公開している空中写真，Google マップのそれぞれの交差点画像での予測結果の mIoU を**表-6** に示す．mIoU の算出は同じ地点の交差点画像 9 枚で行なった.

Real-ESRGAN により高解像度化した画像でのセマンティックセグメンテーションの予測結果において，自治体が公開している画像で Accuracy は約 2%向上し，mIoU は約 4%高い結果となった．Google マップの交差点画像においても Accuracy，mIoU による評価ともに僅かではあるが高い結果が得られた.

しかし，地上解像度 5cm 空中写真での予測結果と比べると精度は低く，実務に使用できる精度は達成できていない.

5. 結論

本研究では，交差点平面図の作成をオープンデータを用いて行うことを目指した．セマンティックセグメンテーションによる交差点平面図の自動生成において重要となるのが，使用画像の解像度であると考え，GAN による画像の高解像度化を行うことでセマンティックセグメンテーションによる予測結果の精度向上を図った.

GAN のモデルである Real-ESRGAN を使用し，高解像度化した画像でのセマンティックセグメンテーションの予測結果において， Accuracy による評価では，自治体が公開している画像で約 2%向上し，Google マップの交差点画像では僅かであるが高い結果となった．mIoU による評価では自治体が公開している画像で約 4%向上し，Google マップの交差点画像でも僅かだが高い結果となった.

Google マップの交差点画像には，超解像なしの予測結果で交差点の一部が全く識別されないものが存在した．これは画素値が背景部分と似ており，識別されなかったと考えられるが，その他にセマンティックセグメンテーションモデルは航空写真を用いて学習されており，衛星画像の画像識別には不適合であったのではないかと考えられる.

セマンティックセグメンテーションにおける Real-ESRGAN を用いた超解像による画像の前処理は一定の精度向上が見られたが，実務に使用できる精度には達していないと考えられる．今後，実務で使用できる精度を明確にし，それに応じてセマンティックセグメンテーションモデルと GAN のモデルを改良するために学習データの増加が必要であると考える.

謝辞：本研究は国土交通省道路局の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」制度により実施されたものである．ここに記して謝意を表する．ここに謝意を表します.

参考文献

1) 志野有・塩見康博：交差点における特殊車両の折進条件の自動判定アルゴリズム，第 20 回 ITS シンポジウム，2022.
2) 国土交通省，道路政策の質の向上に資する技術研究開発，<https://www.mlit.go.jp/road/tech/hyouka/r3/houkokusyo2021-1.pdf>，(入手 2023.7.14)
3) 国土交通省中部地方整備局，令和元年度活動報告書 <https://www.cbr.mlit.go.jp/road/oogatasha_tekisei/pdf/200217-2_siryou.pdf>，(入手 2023.6.10)
4) Christian Ledig, Lucas Theis, Ferenc Huszar, Jose Caballero, Andrew Cunningham, Alejandro Acosta, Andrew Aitken, Alykhan Tejani, Johannes Totz, Zehan Wang, Wenzhe Shi, Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network, < https://arxiv.org/pdf/1609.04802.pdf>，(入手2022.7.11)
5) X. Wang, L. Xie, C. Dong and Y. Shan, Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data, <https://arxiv.org/pdf/2107.10833.pdf>，(入手2022.11.29)