GAN による超解像を用いたオープンソース空中写真の交差点構成要素の自動識別精度の向上

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]により地上解像度 5cm 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，ESRGAN を用いてオープンソース空中写真の解像度を高め，それに地上解像度 5cm 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．その結果，ESRGAN による高解像度化の効果を確認し，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，ESRGAN による高解像度化の有効性を示した．

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

1. はじめに

日本における交通事故の発生件数は年々減少傾向にあるが，令和 4 年に発生した交通事故は約 3 万件に上る．特に交差点付近で発生している交通事故件数は約 1 万 7 千件と全体の約 57%を占めている．塩見ら [3]は交差点のコンパクト化による安全対策について，統計的にその有効性を明らかにした．つまり，交差点における安全対策として，停止線間距離や横断歩道長を短縮するなどの交差点改良は有用な手段であると言える．

また，物流需要の増加に対し，近年のドライバーの高齢化と働き手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，特殊車両の交差点内での右左折可否判定には時間を要している．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．

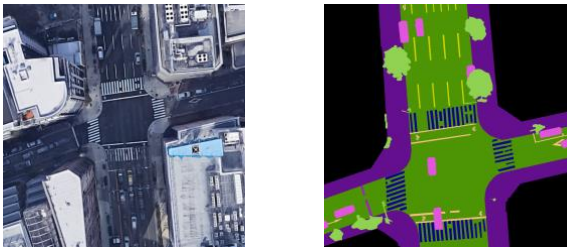
さらに，近年開発が進んでいる自動運転においては，交通事故の過半数を占める交差点での走行の安全性を確実にするために，交差点における自律走行技術が非常に重要となる．そのためには高精度三次元マップが必要となる．その作成において，交差点は停止線や車線，標識など膨大な情報を有しており，その一つ一つを手作業にてタグ付けしていかなければならない．これを全ての交差点を網羅するには膨大なコストと時間を要する．

このように，適切な交差点改良・特殊車両の通行許可申請の効率化・自律走行技術の確立をするにあたり，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．しかしながら，このような交差点平面図は直轄国道では整備されていても地方道等では電子データ化が遅れている．

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でいる．その中で，空中写真を用いて深層学習によって交差点構成要素を自動抽出し，その車道走行空間において車両諸元を考慮した経路探索を行うことで折進可否を判定する手法を提案している．ここでは，5cm 解像度の空中写真に対し，SegFormer-B5 モデルを適用することで高い精度でのセグメンテーションが可能であることが示されている.しかしながら，全国的な交差点平面図の整備を考えた時に，地上解像度 5cm の空中写真を使用するとコストが膨大となる．また，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，これを使用し作成



(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

された交差点平面図は精度が低いというのが現状である.

そこで本研究では，交差点平面図作成の低コスト化を目指し，自治体が公開している空中写真やGoogleマップなどオープンソースである空中写真を用いた交差点平面図の作成する際に，SRGAN という超解像の技術により画像の前処理を行い，セマンティックセグメンテーションによって作成する交差点平面図の精度向上を目的とし，有効性の検証を実施した.

2. 研究の流れ

(1) 使用データの作成

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．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．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．また，自治体が公開している空中写真やGoogleマップについては，解像度について記されていないので，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.

これらの空中写真から交差点部分を 1024×1024（pixel)のサイズでトリミングした画像を使用データとした.

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.

(2) GAN による超解像

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 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，Google マップ交差点画像の超解像を行った.

(3) セマンティックセグメンテーション

セマンティックセグメンテーションは領域分類とも呼ばれ、画像のピクセル 1 つひとつに対してラベル付けしていく手法である．ピクセル単位で被写体などのタグ付けやカテゴリ分けを行う技術である。

本研究では SegFormer-B5 モデルを用い，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.

3. 評価指標

(1) 超解像の評価指標

画質の客観評価の指標として PSNR と SSIM が用いた．以下にそれぞれの詳細を述べる.

a) PSNR

PSNR はピーク信号対雑音比と言われる，画像の劣化を表す評価指標である．算出される値が大きいほど画像の劣化は少なく，画質の客観評価尺度として利用される．算出式は式(1)で表される.

(1)

e^2：雑音電力

b) SSIM

SSIM は人間の画質劣化の知覚に画像構造の類似度が寄与するものとした指標である．算出される値が 1.0 に近いほど劣化が少ない画像であると判断される．算出式は式(2)で表される.

(2)

μ_x：画像 X の平均画素値　μ_y：画像 Y の平均画素値
σ_x：画像 X の画素値の標準偏差
σ_y：画像 X の画素値の標準偏差
σ_{xy}：画像 X と画像 Y の画素値の共分散　C_1，C_2：定数

(2) セマンティックセグメンテーションの評価指標

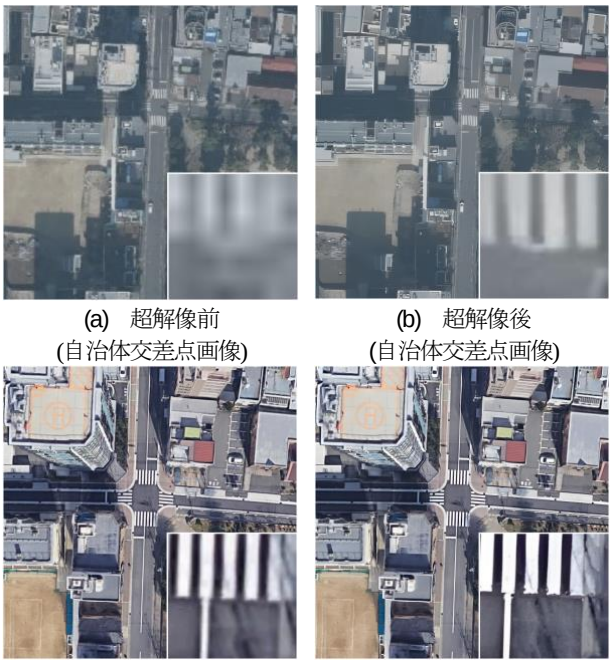
セマンティックセグメンテーションモデルにより作成したセグメント画像の定量評価をするために Accuracy（正解率）と Intersection over Union（IoU），およびクラスごとの IoU の平均値をとった mean IoU を用いた．以下に

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

表-2　超解像後の PSNR・SSIM 算出結果

	PSNR	SSIM
自治体交差点画像	33.2	0.94
Google マップ交差点画像	34.3	0.95



(a)　超解像前 (自治体交差点画像)　(b)　超解像後 (自治体交差点画像)

(c)　超解像前 (Google マップ交差点画像)　(d)　超解像後 (Google マップ交差点画像)

図-2　超解像前後での画像比較

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(3)で表される．TP，TN，FP，FN の定義については**表-1** に示す．

(3)

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(4)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．

(4)

表-3　クラス別 IoU（自治体交差点画像）

	IoU(%)			
	背景	車道	歩道	区画線
超解像なし	84.7	54.2	20.9	5.9
超解像あり	86.1	58.6	23.3	7.5
	IoU(%)			
	中央分離帯	横断歩道	停止線	ゼブラゾーン
超解像なし	29.9	0.1	6.1	0.0
超解像あり	26.5	3.0	5.2	0.7
	IoU(%)			
	自動車	その他白線	オクルージョン	
超解像なし	0.9	4.0	7.6	
超解像あり	2.6	3.2	16.5	

表-4　Accuracy・mIoU 算出結果（自治体交差点画像）

	Accuracy(%)	mIoU(%)
超解像なし	78.4	19.5
超解像あり	81.3	21.2

4.　実験結果

(1)　超解像

今回，自治体交差点画像，Google マップ交差点画像それぞれ 40 枚で超解像を行った．

それぞれの交差点画像での PSNR，SSIM の平均値の算出結果は**表-2** に示しており，数値を見ても画像の劣化はほとんど見られず，高解像度化が実施できていると確認できる．また**図-2** に示すように，超解像後の画像では白線の輪郭がはっきりした，ぼやけの少ない画像が得られていることが分かる．

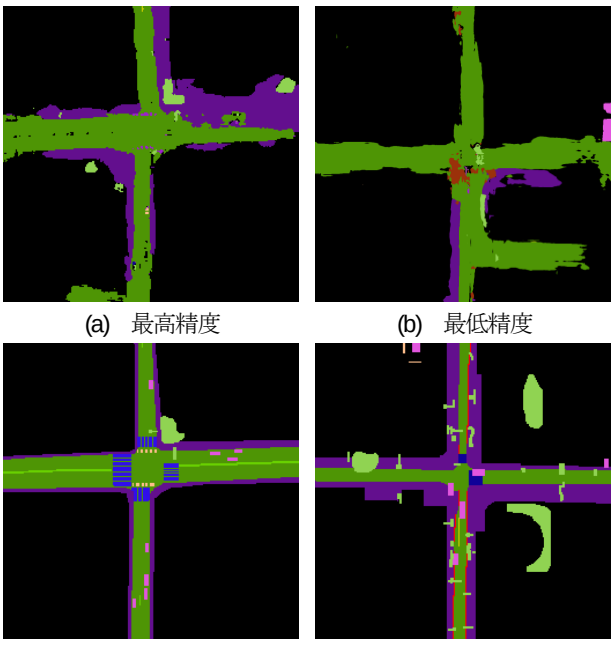
(2)　セマンティックセグメンテーション

超解像による前処理を行わない場合と行った場合とで，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 40 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．

a)　自治体交差点画像

自治体交差点画像での予測結果のクラス別 IoU の算出結果を**表-3** に，予測結果の Accuracy と mIoU を算出した結果を**表-4** に示す．

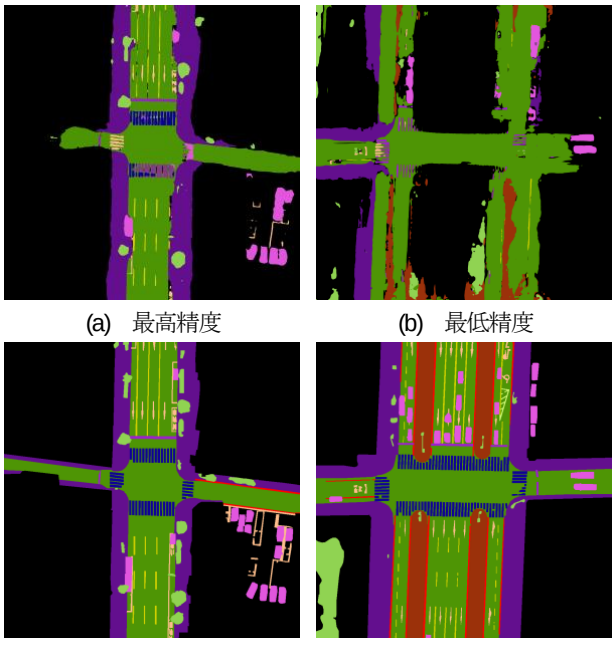




(a) 最高精度　(b) 最低精度

(c) 正解画像　(d) 正解画像

図-3 セグメンテーション例(自治体交差点画像)



(a) 最高精度　(b) 最低精度

(c) 正解画像　(d) 正解画像

図-4 セグメンテーション例(Google マップ交差点画像)

表-5 クラス別 IoU（Google マップ交差点画像）

	IoU(%)			
	背景	車道	歩道	区画線
超解像なし	83.8	71.3	62.7	28.8
超解像あり	82.5	65.7	58.7	24.1
	IoU(%)			
	中央分離帯	横断歩道	停止線	ゼブラゾーン
超解像なし	37.9	17.7	40.9	5.7
超解像あり	35.3	21.8	33.5	6.4
	IoU(%)			
	自動車	その他白線	オクルージョン	
超解像なし	27.2	10.0	28.7	
超解像あり	39.5	11.6	25.3	

表-6 Accuracy・mIoU 算出結果（Google マップ交差点画像）

	Accuracy(%)	mIoU(%)
超解像なし	84.9	37.7
超解像あり	86.1	36.7

また，超解像を行った自治体交差点画像を用いて作成したセグメント画像において最高精度と最低精度の画像を**図-3** に示す.

表-7 3 種類の空中写真ごとの mIoU

		mIoU(%)
地上解像度 5cm 空中写真		80.2
自治体交差点画像	超解像なし	19.5
	超解像あり	21.2
Google マップ交差点画像	超解像なし	37.7
	超解像あり	36.7

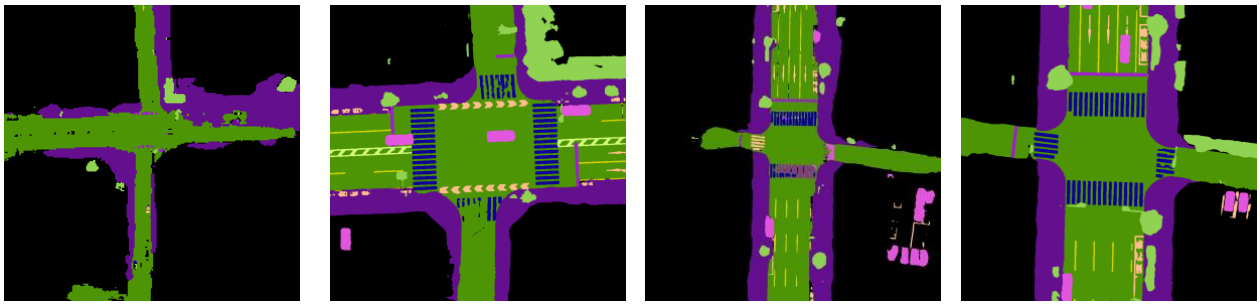
b) Google マップ交差点画像

Google マップ交差点画像での予測結果のクラス別 IoU の算出結果を**表-5** に予測結果の Accuracy と mIoU を算出した結果を**表-6** に示す． また，超解像を行った Google マップ交差点画像を用いて作成したセグメント画像で最高精度と最低精度の画像を**図-5** に示す.

c) 地上解像度 5cm 空中写真との比較

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-7** に示す．mIoU の算出は同じ地点の交差点画像 40 枚で行なった.



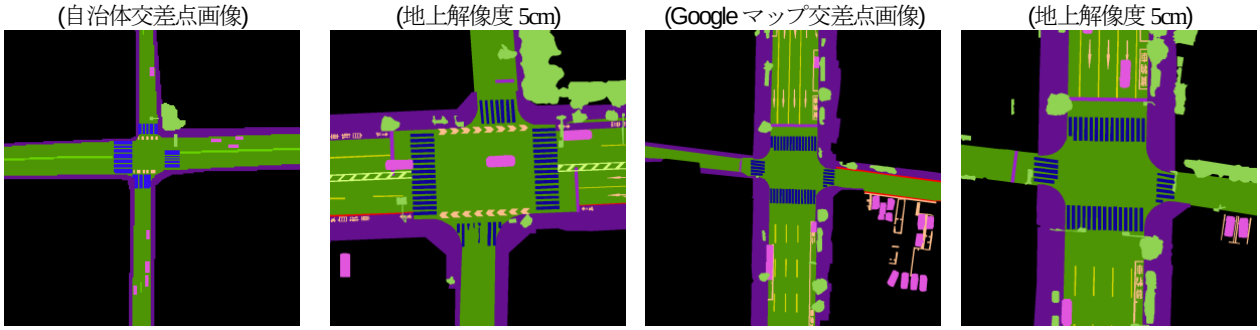


(a1) セグメント画像
(自治体交差点画像)

(b1) セグメント画像
(地上解像度 5cm)

(c1) セグメント画像
(Google マップ交差点画像)

(d1) セグメント画像
(地上解像度 5cm)



(a2) 正解画像
(自治体交差点画像)

(b2) 正解画像
(地上解像度 5cm)

(c2) 正解画像
(Google マップ交差点画像)

(d2) 正解画像
(地上解像度 5cm)

図-5 3 種類の空中写真ごとのセグメンテーション比較

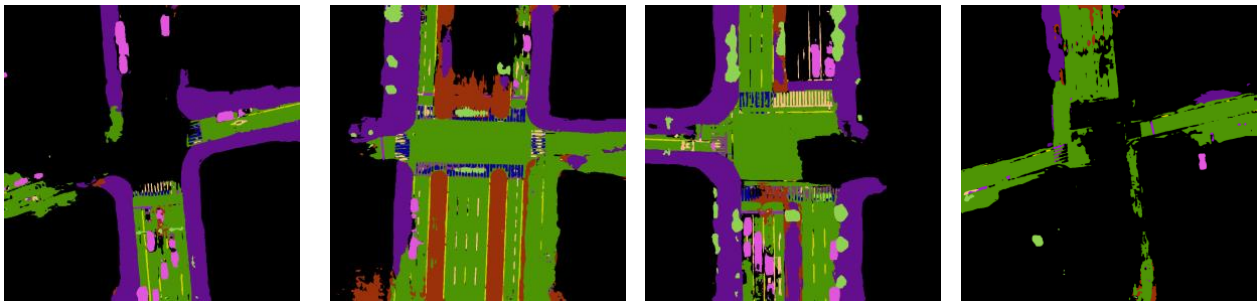


図-6 Google マップ交差点画像における予測結果の欠損例

また，前項で示した自治体交差点画像と Google マップ交差点画像で作成した最高精度のセグメント画像と地上解像度 5cm 空中写真を用いて作成したセグメント画像の比較結果を図-5(a1)～(d2)に示す.

5. 考察

超解像による画像の前処理を施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 3%向上し，mIoU は約 2%高い結果となった．Google マップの交差点画像については，Accuracy が約 1%向上，mIoU が約 1%低下という結果が得られた.

Google マップ交差点画像においては，図-6 に示すように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ため，精度評価の数値は低くなった．原因として，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．その他にセマンティックセグメンテーションモデルが Google マップを用いた画像識別には不適合であったのではないかと考える.

また，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.

6. おわりに

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.

ESRGANを使用し，超解像処理を行っ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，自治体交差点画像で約 3%向上し，Google マップ交差点画像では約 1%向上という結果となった．mIoU による評価では，自治体交差点画像で約 2%向上し，Google マップ交差点画像では約 1%低下という結果が得られた．

セマンティックセグメンテーションにおけるESRGANを用いた超解像による画像の前処理は実務に使用できる精度を達成するほどの効果は見られなかったが，精度向上の要因の一つとしての可能性を示した．

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超解像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．また，Google マップ交差点画像において発生した交差点の一部が全く予測されない現象について，原因を明らかにし，解決策を考えていく必要がある．

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) 塩見 康博，渡部 数樹，中村 英樹，赤羽 弘和:交差点幾何構造を考慮した幹線道路信号交差点における交通事故リスク要因の分析，2016
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)