

GeoAI with Python

オープンソース地理空間AIのための
実践ガイド



Qiusheng Wu

GeoAI と Python

オープンソース地理空間 AI の実践ガイド

Qiusheng Wu
2026

Contents

まえがき	1
はじめに	3
本書の対象読者	4
本書の内容	5
本書を最大限に活用するために	8
本書で使用される規約	9
コード例のダウンロード	9
ビデオチュートリアル	10
コミュニティとフィードバック	10
著者について	11
ライセンスと著作権	11
I: 基礎	13
1. GeoAI 入門	15
1.1. はじめに	15
1.2. 学習目標	16
1.3. GeoAI とは何か?	16
1.4. GeoAI の主要なアプリケーション	18
1.5. GeoAI のための Python エコシステム	22
1.6. 地理空間分析におけるコア AI タスク	24
1.7. 従来の手法から基盤モデルへ	31
1.8. 主要なポイント	32
1.9. 演習	33
2. 環境構築	35
2.1. はじめに	35
2.2. 学習目標	35
2.3. ハードウェア要件	35
2.4. NVIDIA ドライバーのインストール	36
2.5. Miniconda で Python をインストール	39
2.6. conda 環境の作成	41
2.7. GeoAI と PyTorch の GPU サポート付きインストール	41
2.8. 代替パッケージマネージャーとしての uv のインストール	43
2.9. Jupyter のセットアップ	44
2.10. Visual Studio Code のインストール	45
2.11. セットアップの確認	46
2.12. 演習	48
3. 地理空間データの基礎	49
3.1. はじめに	49
3.2. 学習目標	49
3.3. ラスターデータ	49
3.4. ベクターデータ	53
3.5. 座標参照系	56
3.6. ディープラーニングのためのアノテーション形式	57
3.7. 画像タイリングとチップ	59

3.8. 主要なポイント	60
3.9. 演習	60
II: データの取得と準備	63
4. リモートセンシングデータのダウンロード	65
4.1. はじめに	65
4.2. 学習目標	65
4.3. 衛星画像ソース	65
4.4. STAC による検索	67
4.5. NAIP 画像のダウンロード	73
4.6. Sentinel-2 データのダウンロード	74
4.7. Landsat データのダウンロード	75
4.8. Vantor Open Data のダウンロード	77
4.9. ベクターデータへのアクセス	78
4.10. データの整理	80
4.11. 主要なポイント	81
4.12. 演習	81
5. インタラクティブな地図作成と可視化	83
5.1. はじめに	83
5.2. 学習目標	83
5.3. Leafmap によるインタラクティブマップの作成	84
5.4. マップ上でのラスターデータの操作	85
5.5. Planetary Computer からのデータの可視化	88
5.6. マップ上でのベクターデータの操作	92
5.7. 比較のためのスプリットパネルマップ	94
5.8. モデル結果の可視化	95
5.9. GeoAI 可視化のベストプラクティス	97
5.10. 主要なポイント	98
5.11. 演習	99
6. 訓練データの作成	101
6.1. はじめに	101
6.2. 学習目標	101
6.3. 訓練データパイプライン	101
6.4. 単一画像からの画像チップの生成	102
6.5. 複数画像のバッチ処理	106
6.6. ラスターマスクによるバッチ処理	111
6.7. ラベル品質に関する考慮事項	111
6.8. データセットの整理	112
6.9. まとめ	113
6.10. 主要なポイント	114
6.11. 演習	115
III: コア AI タスク	117
7. 画像認識	119
7.1. はじめに	119
7.2. 学習目標	119

7.3.	画像分類の理解	120
7.4.	分類アーキテクチャ	121
7.5.	分類のためのデータ準備	122
7.6.	ライブラリのインポート	123
7.7.	EuroSAT RGB データセットのダウンロード	124
7.8.	データセットの探索	124
7.9.	ResNet-50 分類器の訓練	126
7.10.	訓練履歴のプロット	127
7.11.	テストセットでの評価	127
7.12.	混同行列のプロット	128
7.13.	予測の可視化	130
7.14.	EfficientNet-B0 分類器の訓練	131
7.15.	結果の比較	133
7.16.	モデルの公開と再利用	133
7.17.	主要なポイント	135
7.18.	演習	135
8.	物体検出	137
8.1.	はじめに	137
8.2.	学習目標	137
8.3.	物体検出の理解	138
8.4.	検出アーキテクチャ	139
8.5.	検出データセットの準備	141
8.6.	検出結果の評価	142
8.7.	ライブラリのインポート	143
8.8.	NWPU-VHR-10 データセットのダウンロード	144
8.9.	データセットの探索	144
8.10.	データセットの準備	145
8.11.	サンプルアノテーションの可視化	145
8.12.	マルチクラス検出モデルの訓練	146
8.13.	訓練メトリクスのプロット	147
8.14.	COCO メトリクスによる評価	147
8.15.	サンプル画像に対する推論の実行	148
8.16.	検出結果の可視化	149
8.17.	複数画像に対するバッチ推論	150
8.18.	モデルの公開と再利用	151
8.19.	重要なポイント	154
8.20.	演習	154
9.	セマンティックセグメンテーション	157
9.1.	はじめに	157
9.2.	学習目標	157
9.3.	セマンティックセグメンテーションの基礎	158
9.4.	ライブラリのインポート	160
9.5.	航空画像からの建物検出	160
9.6.	表層水マッピング	166
9.7.	雲と雲影の検出	189

9.8. 土地被覆分類	196
9.9. モデルの公開と再利用	200
9.10. まとめ	201
9.11. 演習	202
10. インスタンスセグメンテーション	205
10.1. はじめに	205
10.2. 学習目標	205
10.3. インスタンスセグメンテーション vs. セマンティックセグメンテーション	206
10.4. Mask R-CNN アーキテクチャ	207
10.5. FTW データセットのダウンロード	208
10.6. 訓練データの準備	210
10.7. Mask R-CNN モデルの訓練	211
10.8. 推論の実行	212
10.9. 予測の後処理	214
10.10. 幾何学的特性の抽出	217
10.11. バッチ処理	219
10.12. 重要なポイント	219
10.13. 演習	220
11. 画像変換	223
11.1. はじめに	223
11.2. 学習目標	223
11.3. 画像変換の基礎	224
11.4. ライブラリのインポート	226
11.5. サンプルデータのダウンロード	226
11.6. 入力 RGB コンポジットの可視化	226
11.7. 単一パッチ超解像	227
11.8. 不確実性推定	229
11.9. より大きな領域のためのタイル推論	231
11.10. 制限事項と注意点	233
11.11. 重要なポイント	234
11.12. 演習	234
12. 変化検出	237
12.1. はじめに	237
12.2. 学習目標	237
12.3. 変化検出の理解	238
12.4. 従来の変化検出手法	239
12.5. ディープラーニングによる変化検出	241
12.6. ライブラリのインポート	242
12.7. 利用可能なモデルの一覧	242
12.8. セットアップ	243
12.9. サンプルデータのダウンロード	243
12.10. 入力画像の可視化	243
12.11. ChangeStar モデルの初期化	244
12.12. 変化検出の実行	244
12.13. 結果の可視化	245

12.14.	便利関数の使用	247
12.15.	モデルバリエーションの比較	247
12.16.	閾値の調整	248
12.17.	保存された出力の確認	249
12.18.	まとめ	250
12.19.	演習	251
13.	ピクセルレベル回帰	253
13.1.	はじめに	253
13.2.	学習目標	253
13.3.	ピクセル回帰の理解	254
13.4.	回帰アーキテクチャ	255
13.5.	ケーススタディ: Landsat 画像からの NDVI 予測	256
13.6.	評価メトリクス	261
13.7.	重要なポイント	262
13.8.	演習	262
IV:	基盤モデルと衛星エンベディング	265
14.	地理空間向け <i>Segment Anything</i>	267
14.1.	はじめに	267
14.2.	学習目標	268
14.3.	SAM 3 の仕組み	268
14.4.	環境のセットアップ	269
14.5.	画像セグメンテーション	269
14.6.	インスタンスセグメンテーションのためのポイントプロンプト	274
14.7.	建物抽出のためのボックスプロンプト	281
14.8.	バッチセグメンテーション	285
14.9.	大規模画像のためのタイル型セグメンテーション	287
14.10.	インタラクティブセグメンテーション	290
14.11.	ビデオセグメンテーション	292
14.12.	まとめ	298
14.13.	演習	299
15.	視覚言語モデル	301
15.1.	はじめに	301
15.2.	学習目標	301
15.3.	視覚言語モデルの仕組み	302
15.4.	環境のセットアップ	303
15.5.	サンプルデータ	303
15.6.	Moondream プロセッサの初期化	304
15.7.	画像キャプション生成	305
15.8.	視覚的質問応答	306
15.9.	物体検出とポイント特定	306
15.10.	インタラクティブ GUI	309
15.11.	大規模ラスタのためのスライディングウィンドウ分析	311
15.12.	CLIP ベースのセグメンテーション	317
15.13.	地球観測における実用的アプリケーション	320
15.14.	制限事項と考慮点	320

15.15.	まとめ	321
15.16.	演習	321
16.	衛星エンベディング	323
16.1.	はじめに	323
16.2.	学習目標	323
16.3.	衛星エンベディングとは	324
16.4.	環境のセットアップ	324
16.5.	利用可能なエンベディングデータセットの閲覧	325
16.6.	パッチベースのエンベディングの探索	326
16.7.	エンベディングの可視化	328
16.8.	エンベディングのクラスタリング	330
16.9.	類似度検索	332
16.10.	エンベディングに対する分類器の訓練	335
16.11.	変化検出のためのエンベディング比較	339
16.12.	TorchGeo によるデータセットの読み込み	341
16.13.	TESSERA テンポラルエンベディングの利用	341
16.14.	AlphaEarth 衛星エンベディングの探索	347
16.15.	まとめ	350
16.16.	演習	351
V:	QGIS プラグイン	353
17.	GeoAI QGIS プラグインの設定	355
17.1.	はじめに	355
17.2.	学習目標	355
17.3.	プラグインアーキテクチャの概要	355
17.4.	QGIS プラグインのインストール	356
17.5.	依存関係のセットアップ	359
17.6.	SAM 3 アクセスのセットアップ	363
17.7.	GPU メモリ管理	364
17.8.	プラグインの更新確認	365
17.9.	重要なポイント	366
17.10.	演習	367
18.	QGIS での樹木セグメンテーション	369
18.1.	はじめに	369
18.2.	学習目標	369
18.3.	樹木セグメンテーションパネルの概要	370
18.4.	事前訓練済みモデルの読み込み	370
18.5.	予測の実行	372
18.6.	結果のエクスポート	375
18.7.	実践的な考慮事項	376
18.8.	重要なポイント	377
18.9.	演習	377
19.	QGIS での水域セグメンテーション	379
19.1.	はじめに	379
19.2.	学習目標	379
19.3.	水域セグメンテーションパネルの概要	379

19.4.	入力データの設定	380
19.5.	水域セグメンテーションの実行	381
19.6.	出力オプション	383
19.7.	実践的な考慮事項	384
19.8.	重要なポイント	385
19.9.	演習	386
20.	QGISでの視覚言語モデル	387
20.1.	はじめに	387
20.2.	学習目標	388
20.3.	Moondream モデルの読み込み	388
20.4.	画像キャプション	390
20.5.	視覚的質問応答	392
20.6.	物体検出	393
20.7.	ポイント位置特定	394
20.8.	ヒントと制限事項	395
20.9.	重要なポイント	396
20.10.	演習	397
21.	QGISでの Segment Anything	399
21.1.	はじめに	399
21.2.	学習目標	399
21.3.	サンプルデータ	399
21.4.	SAM モデルの読み込み	400
21.5.	テキストプロンプトによるセグメンテーション	402
21.6.	インタラクティブセグメンテーション	402
21.7.	バッチ処理	405
21.8.	結果のエクスポート	406
21.9.	重要なポイント	408
21.10.	演習	409
22.	QGISでのセマンティックセグメンテーション	411
22.1.	はじめに	411
22.2.	学習目標	411
22.3.	訓練データの作成	412
22.4.	モデルの訓練	414
22.5.	推論の実行	418
22.6.	一般的な問題のトラブルシューティング	419
22.7.	重要なポイント	419
22.8.	演習	420
23.	QGISでのインスタンスセグメンテーション	423
23.1.	はじめに	423
23.2.	学習目標	423
23.3.	Mask R-CNN アーキテクチャ	424
23.4.	訓練データの作成	424
23.5.	Mask R-CNN の訓練	426
23.6.	推論の実行	428
23.7.	重要なポイント	429

23.8. 演習	430
参考文献	431

まえがき

はじめに

私たちは地球観測の革命の真ただ中にいます。毎日、衛星はマルチスペクトル画像、レーダー、LiDARなどを含む膨大な量のデータを取得しています。この情報は気候の脆弱性や都市化を理解する鍵を握っていますが、データ収集と実世界での応用との間のギャップは依然として大きな障壁となっています。

ここで GeoAI が登場します。

地理空間科学と AI の交差点である GeoAI は、このギャップを驚異的な速さで埋めつつあります。ディープラーニングモデルは、大規模にすべての建物を識別したり、広大な地域にわたって個々の車両を特定したりすることが可能になりました。新しい基盤モデルにより、これらのツールは最小限の人間の入力でも未知の環境でも機能します。さらに、視覚言語モデルや自律エージェントにより、アナリストは簡単なコマンドで画像を照会しワークフローを管理できるようになっています。かつて数カ月を要した手動のデジタイゼーション作業が、今では数分で完了するようになりました。

本書「GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI」は、この革命への実践的ガイドです。本書はシンプルな前提に基づいています。GeoAI を学ぶ最良の方法は実際に手を動かすことです。抽象的な理論に時間を費やすのではなく、各章で訓練データセットの準備やディープラーニングモデルの実行から結果のインタラクティブな可視化と解釈まで、実際のツールを手にとっていただきます。コードは本物であり、データセットも本物であり、問題は実務者が毎日直面するものを反映しています。

GeoAI のための Python エコシステムは劇的に成熟しました。PyTorch、torchgeo、segment-geospatial などのライブラリは、最先端のディープラーニングを地理空間の実務者にもたらし、[leafmap](#) や [geoai](#) などのパッケージは、複雑なワークフローを利用しやすくする高レベルのインターフェースを提供しています。クラウドコンピューティングプラットフォームと GPU アクセラレーションにより、大規模なモデルの訓練とデプロイの障壁が下がりました。これらの進歩により、ラップトップを持つ研究者が、かつて専門家チームとサーバー室いっぱいの機器を必要としたことを実現できるようになりました。

私たちの旅は基礎から始まります。地理空間データ形式の理解、ディープラーニング環境の構築、インタラクティブな可視化の習得です。次に、衛星画像の取得と訓練データセットの準備という重要な作業をカバーします。そこから、現代のリモートセンシングを定義するコア AI タスクへと進みます。画像認識、物体検出、セマンティックセグメンテーション、インスタンスセグメンテーション、画像変換、変化検出、ピクセルレベル回帰です。次に、Segment Anything Model (SAM)、視覚言語モデル、衛星エンベディングを含む基盤モデルの最前線を探ります。最後に、QGIS プラグインに関する専用セクションでは、これらの AI 機能を身近なデスクトップ GIS 環境に取り込み、コードを書かずに高度なワークフローを実現します。

GIS 専門家として AI をワークフローに統合したい方、地理空間アプリケーションに興味のあるデータサイエンティスト、地球観測の限界を押し広げる研究者、あるいは地理学と機械学習の交差点でキャリアを始める学生のいずれであっても、本書は衛星画像を洞察に変えるための知識とスキルを提供します。

地理空間分析の未来は、インテリジェントで、自動化され、誰もがアクセスできるものです。一緒に築きましょう。

本書の対象読者

本書は、人工知能を地理空間データに適用したいすべての方のために設計されています。衛星画像を見て、建物、道路、土地被覆を自動的に抽出する方法を考えたことがある方、あるいはディープラーニングモデルを訓練したことがあるが、投影法、座標、巨大なファイルサイズを持つ地理データへの適用に苦労した方、本書はあなたのためのものです。

本書が最も役立つ方

GIS 専門家: 手動デジタイゼーションや目視判読を超えたいと考えている方。QGIS や ArcGIS に精通し、空間分析の概念を理解しているが、ディープラーニングを活用して特徴抽出の自動化、大規模な土地被覆分類、時系列画像の変化検出を行いたい方。

リモートセンシング科学者・研究者: 衛星画像や航空画像を扱っている方。スペクトルバンド、空間解像度、画像前処理を理解しているが、セグメンテーションモデルの訓練から SAM などの基盤モデルの研究地域への適用まで、現代の AI 技術への実践的な橋渡しが必要な方。

データサイエンティストまたは機械学習エンジニア: ディープラーニングの経験があり、そのスキルを地理空間の問題に適用したい方。PyTorch や TensorFlow に精通し、CNN や Transformer を理解しているが、地理データ特有の課題への指針が必要な方。座標参照系、大規模ラスターのタイリング、マルチバンド画像の処理、モデル出力のジオリファレンスなどです。

大学院生や初期キャリアの研究者: 地理学、環境科学、都市計画、生態学、または関連分野の方。研究に空間データが関わっており、最先端の AI 手法を論文や出版物に取り入れたいと考えている方。需要が高まっているスキルを身につけたい方。

ソフトウェア開発者: インテリジェントな分析を必要とする地理空間アプリケーションを構築している方。AI 搭載の特徴抽出、分類、変化検出を Web アプリケーション、API、自動化パイプラインに統合する必要があり、モデル訓練からデプロイまでの完全なワークフローを理解したい方。

必要な前提知識

以下に慣れている必要があります:

- Python プログラミング: 変数、関数、クラス、ライブラリのインポート (高度な Python の専門知識は不要)
- 基本的なデータ分析: 表形式データの操作、フィルタリング、集約、プロット
- 基本的な地理空間の概念: データに位置情報があること、ラスターデータとベクターデータとは何か、座標系の基本的な知識
- コマンドラインの基本: ディレクトリの移動、スクリプトの実行、パッケージのインストール

あると役立つ背景知識 (必須ではない)

- ディープラーニングフレームワーク (PyTorch、TensorFlow) の経験
- リモートセンシングの概念 (スペクトルバンド、空間解像度、画像分類) への親しみ
- 地理空間 Python ライブラリ (rasterio、geopandas、leafmap) の使用経験
- 機械学習の基礎 (訓練と推論、過学習、評価指標) の理解

地理空間 Python プログラミングが初めての方

地理空間 Python プログラミングが初めての方には、以下の書籍が GIS の基礎概念と Python プログラミングの両方について優れた入門書となります：

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

空間データ管理と SQL ベースの地理空間分析に興味のある方には、姉妹書が包括的なガイドを提供しています：

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

本書の内容

本書は、地理空間の基礎から本番対応の GeoAI アプリケーションまでの体系的な旅を提供し、各ステップでハンズオンの例を通じて実践的なスキルを身につけていただきます。各章は前の章を基に構築され、実世界の地理空間問題に AI を適用する能力を段階的に拡大していきます。

第 I 部：基礎 (第 1-3 章)

以降のすべてのコンテンツの基盤となる基本的な知識とツールを確立します：

- 第 1 章：GeoAI 入門 GeoAI の全体像を包括的に概説します。GeoAI とは何か、なぜ重要なのか、ディープラーニングがどのように地理空間分析を変革したか。リモートセンシングにおける主要な AI タスクを探り、GeoAI のための Python エコシステムを概観し、基盤モデルと AI エージェントがこの分野をどこへ導いているかを理解します。
- 第 2 章：環境構築 完全な GeoAI 開発環境の構成方法を説明します。Python のインストールと conda によるパッケージ管理から、CUDA と PyTorch による GPU アクセラレーションの設定まで、この章は以降のすべてのハンズオン作業のための堅固で再現可能な基盤を確保します。
- 第 3 章：地理空間データ形式 本書全体で使用するデータ形式をカバーします。GeoTIFF や Cloud Optimized GeoTIFF (COG) などのラスター形式、GeoJSON や GeoParquet などのベクター形式、COCO や Pascal VOC アノテーションなどのディープラーニング用の特殊な形式を含みます。Python を使用してフォーマット間の読み書きと変換を学びます。

第 I 部の終わりまでに、完全に構成されたディープラーニング環境と、GeoAI に必要なデータ形式と概念の確かな理解を得られます。

第 II 部：データの取得と準備 (第 4-6 章)

AI のための地理空間データの取得と準備という、重要でありながらしばしば過小評価される作業を習得します：

- 第 4 章：リモートセンシングデータのダウンロード Google Earth Engine、Microsoft Planetary Computer、さまざまなオープンデータポータルから、衛星画像、標高データ、その他の地理空間データセットにプログラムでアクセスする方法を学びます。研究対象地域のデータを効率的に検索、フィルタリング、ダウンロードする方法を学びます。

- ・ 第 5 章: インタラクティブマッピングと可視化 地理空間データをインタラクティブに探索するための強力な可視化ツールを紹介します。leafmap やその他のライブラリを使用して、インタラクティブマップの作成、衛星画像のオーバーレイ、モデル予測の可視化、説得力のある視覚的ナラティブの構築を行います。これらのスキルは、探索的分析と結果の伝達の両方に不可欠です。
- ・ 第 6 章: 訓練データの作成 AI パイプラインにおける最も重要なステップの一つである、高品質な訓練データセットの準備について解説します。セグメンテーション、検出、分類タスクのためのラベル付きデータセットの作成方法を学びます。アノテーション戦略や、大きな衛星画像を訓練用チップにタイル化する方法も含まれます。

第 II 部の終わりまでに、複数のソースから衛星画像を取得し、インタラクティブに可視化し、ディープラーニングモデルに対応した構造化された訓練データセットを準備できるようになります。

第 III 部: コア AI タスク (第 7-13 章)

現代の地理空間分析を定義する基本的な AI タスクに取り組みます:

- ・ 第 7 章: 画像認識 画像全体を分類するためのディープラーニングを紹介します。衛星画像や航空画像からシーンタイプ、土地利用カテゴリ、地理的特徴を識別する画像分類モデルの構築を学びます。
- ・ 第 8 章: 物体検出 地理空間画像内の個々のオブジェクトを検出し分類する方法を学びます。建物や車両の検出から、樹木やソーラーパネルの識別まで、リモートセンシング向けに適応された Faster R-CNN や YOLO などのアーキテクチャを使用します。
- ・ 第 9 章: セマンティックセグメンテーション ピクセルレベルの分類をカバーし、画像内のすべてのピクセルにクラスラベルを割り当てます。衛星画像から水域、植生、市街地などの特徴を描出するモデルを訓練し、U-Net や DeepLabV3+ などのアーキテクチャを学びます。
- ・ 第 10 章: インスタンスセグメンテーション 検出とセグメンテーションを組み合わせ、個々のオブジェクトの正確な境界を生成します。密集した都市部の個々の建物フットプリントなど、重なり合う特徴を区別する方法を、Mask R-CNN などのモデルを使用して学びます。
- ・ 第 11 章: 画像変換 AI を適用して画像をドメイン間で変換します。超解像、センサー変換、雲除去などを含みます。マルチスペクトル衛星画像でモデルを訓練し、低解像度入力から高解像度出力を生成する方法を学びます。
- ・ 第 12 章: 変化検出 異なる時間に撮影された画像間の変化を特定する課題に取り組みます。都市拡大や森林破壊から災害後の被害評価まで、時系列分析の従来型およびディープラーニングアプローチの両方を学びます。
- ・ 第 13 章: ピクセルレベル回帰 分類を超えて、各ピクセルの連続値を予測します。樹冠高、バイオマス、土壌水分、人口密度などです。衛星画像で回帰モデルを訓練し、連続予測に特化した評価戦略を学びます。

第 III 部の終わりまでに、すべての主要な GeoAI タスクのハンズオン経験を積み、各アプローチをいつ適用すべきかを理解し、自身の地理空間アプリケーションのためにモデルを訓練・評価できるようになります。

第 IV 部: 基盤モデルと衛星エンベディング (第 14-16 章)

事前訓練された基盤モデルが可能性を再定義する GeoAI の最先端を探ります:

- 第 14 章: 地理空間のための *Segment Anything* Segment Anything Model (SAM) とその地理空間画像への適用を紹介します。segment-geospatial パッケージを使用して、最小限のプロンプトで衛星画像をセグメント化し、タスク固有の訓練なしに建物、農地、水域などを抽出する方法を学びます。
- 第 15 章: 視覚言語モデル 視覚的理解とテキスト理解を橋渡しするモデルを探ります。自然言語を使用して衛星画像を照会し、地理空間シーンのキャプションを生成し、リモートセンシングデータの視覚的質問応答などのタスクにマルチモーダルモデルを活用する方法を学びます。
- 第 16 章: 衛星エンベディング 基盤モデルからの事前計算された衛星エンベディングデータセットの急速に成長するエコシステムを探ります。Clay、TESSERA、Google の AlphaEarth を含む 9 つのデータセットからエンベディングを閲覧、読み込み、可視化し、類似度検索やクラスタリングを実行し、エンベディングベクトルで軽量な分類器を訓練する方法を学びます。

第 IV 部の終わりまでに、基盤モデルが GeoAI をどのように再形成しているかを理解し、これらの高度な技術を自身の研究やプロジェクトに適用する準備が整います。

第 V 部: QGIS プラグイン (第 17-23 章)

GeoAI QGIS プラグインを通じて、身近な QGIS デスクトップ GIS 環境に GeoAI 機能を導入します:

- 第 17 章: *GeoAI QGIS* プラグインの設定 GeoAI QGIS プラグインのインストールと設定を説明します。組み込みの依存関係インストーラーを使用するか、PyTorch と CUDA サポートを備えた Pixi 環境を設定し、プラグインをインストールし、QGIS 内で大規模 AI モデルを実行するための GPU メモリ管理を学びます。
- 第 18 章: QGIS での樹木セグメンテーション 樹冠検出と生態学的物体検出のための樹木セグメンテーションパネルを実演します。樹木、鳥、家畜、巣、枯死木の事前訓練モデルを読み込み、単一画像と大きなタイルの予測パラメータを設定し、結果をベクター、ラスタ、訓練データ形式でエクスポートします。
- 第 19 章: QGIS での水域セグメンテーション OmniWaterMask を使用した自動水域検出のための水域セグメンテーションパネルをカバーします。異なるセンサーのバンド順序を設定し、パッチベースの推論パラメータを調整し、精度向上のために OpenStreetMap データを統合し、水域マスクをラスタおよびベクターデータとしてエクスポートします。
- 第 20 章: QGIS での視覚言語モデル 地理空間画像との自然言語インタラクションのための Moondream VLM パネルを実演します。画像キャプションの生成、可視的特徴に関する質問、バウンディングボックスによる物体検出、ポイントマーカーによる特徴の位置特定を行います。
- 第 21 章: QGIS での *Segment Anything* インタラクティブおよび自動セグメンテーションのための Segment Anything パネルを実演します。SAM 3 を読み込み、テキストプロンプトでオブジェクトをセグメント化し、ポイントおよびボックスプロンプトによるインタラクティブセグメンテーションを実行し、特徴のバッチを処理し、ジオリファレンスされた結果をエクスポートします。
- 第 22 章: QGIS でのセマンティックセグメンテーション コードを書かずにピクセルレベル分類の訓練から推論までの完全なワークフローをカバーします。訓練データセットの作成、U-Net、DeepLabV3+、SegFormer などのアーキテクチャの選択、カスタムモデルの訓練、ベクター化とスムージングによる推論を行います。
- 第 23 章: QGIS でのインスタンスセグメンテーション Mask R-CNN を使用したインスタンスレベルの物体検出を実演します。PASCAL_VOC 形式でインスタンス訓練データを作成し、個々のオブジェクトを検出・描出するモデルを訓練し、カウント、測定、空間分析のためのオブジェクトごとの出力を使用します。

第 V 部の終わりまでに、QGIS 内で直接高度な GeoAI ワークフローを実行できるようになり、Python プログラミングの専門知識を必要とせず、GIS 実務者が AI 搭載の分析にアクセスできるようになります。

全編を通じたテーマ

- ハンズオン実践: すべての概念に、実際の地理空間データを使用した実行可能なコード例が付属しています。
- オープンソースツール: 本書で使用するすべてのソフトウェアは無料でオープンソースであり、アクセシビリティと再現性を確保しています。
- スケーラブルなワークフロー: ラップトップで動作し、クラウドインフラにスケールする技術。
- 実世界のアプリケーション: 環境モニタリング、都市分析、農業、災害対応から引き出された例。
- 再現性: すべてのコードとデータが GitHub で利用可能であり、本書のすべての結果を再現できます。

本書を最大限に活用するために

本書での学習体験を最大化するために、以下の推奨事項を検討してください:

環境を早めに構築する: 第 2 章に注意深く従い、GPU サポート付きの Python 環境を設定してください。多くの GeoAI タスクは GPU アクセラレーションから大きな恩恵を受け、適切に設定された環境は本書全体を通じてかなりの時間を節約します。ローカル GPU がない場合、本書は Google Colab などのクラウドベースの GPU プラットフォームの使用に関するガイダンスを提供しています。

コードに沿って実行する: 本書はインタラクティブに設計されています。コードを読むだけでなく、入力し、実行し、結果を観察してください。パラメータを変更し、異なるデータセットを試し、実験してください。理解は実践を通じて得られるものであり、ハンズオンの例が本書の核心です。期待通りに動作しない場合、先に進みたい衝動を抑えてください。デバッグは最も価値のある学習経験の一つであり、培ったトラブルシューティングスキルは GeoAI キャリア全体を通じて役立ちます。

章を順番に進める: 経験豊富な実務者は特定のトピックに直接飛ぶことができますが、各章は前の章の上に構築されています。前の章で導入された概念 (環境構築、データ形式、可視化技術) は本書全体で使用されます。先に進む場合は、必要に応じて戻って参照してください。

自分のデータを使う: 本書はすべての例にデータセットを提供していますが、本当の学習はこれらの技術を自分が関心を持つデータに適用したときに起こります。自分の研究対象地域の画像でセグメンテーションモデルを実行したり、研究に関連する特徴の物体検出モデルを訓練したりしてみてください。

エラーを受け入れる: ディープラーニングモデルの訓練には反復が伴います。モデルが最初の試行で収束するとは限らず、予測が常に完璧であるとは限らず、GPU のメモリが不足することもあります。これらは学習の機会です。本書は一般的な落とし穴とデバッグ戦略を解説していますが、問題を診断する直感は経験を通じて培われます。

ポートフォリオプロジェクトを構築する: 本書を進めるにつれて、興味のある地理空間問題を特定し、学んでいる技術を適用してください。データの取得からモデルの訓練、可視化までの完全なプロジェクトは、どの認定資格よりも効果的にスキルを実証します。

最新情報を追う：GeoAIは急速に進化する分野です。新しい基盤モデル、アーキテクチャ、ツールが定期的に登場します。本書のGitHubリポジトリは、学習の旅を続けるための新しいコンテンツや例で定期的に更新されます。

本書で使用される規約

本書では、内容のナビゲーションとコード例の理解を助けるために、いくつかの規約を使用しています：

コードの書式：すべてのPythonコードは、コードブロック内の等幅フォントで表示されます。通常のテキスト内にコードが表示される場合、このように書式設定されます。ファイル名、ディレクトリ名、パッケージ名、関数名も等幅フォントで表示されます。

コード例：ほとんどのコード例は完全に実行可能です。重要な概念や実演されている技術を説明するコメントが含まれています。以下はleafmapライブラリを使用した典型的な例です：

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

パッケージのインポート：各章の冒頭に、必要なすべてのインポートが記載されています。本書全体で使用する主要なパッケージは以下の通りです：

- `geoai` - 高レベルのGeoAIワークフロー (opengeoai.org)
- `leafmap` - インタラクティブな地理空間可視化 (leafmap.org)
- `samgeo` - 地理空間データのためのSAM (samgeo.github.org)
- `torch / torchvision / torchgeo` - PyTorchによるディープラーニング
- `rasterio / geopandas` - 地理空間データの読み書き

図とマップ：インタラクティブマップはJupyterノートブック内で直接レンダリングされます。印刷版では、オンライン版で利用可能なインタラクティブ機能を説明するキャプション付きの静的スナップショットが表示されます。

コード例のダウンロード

本書のすべてのコード例と補助資料は、GitHubで無料で入手できます：<https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

すべてのサンプルデータセットはSource Cooperativeで利用可能です：<https://source.coop/opengeos/geoai>

資料をダウンロードするには、以下の方法のいずれかを使用できます：

- リポジトリのクローン (Gitがインストールされている場合に推奨)：

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- ZIPとしてダウンロード（Gitを使用したくない場合）：
 - GitHub リポジトリページにアクセス
 - 緑色の *Code* ボタンをクリック
 - *Download ZIP* を選択
 - ファイルを希望の場所に解凍
- GitHub インターフェースまたは本書のウェブサイト book.opengeoai.org で個別のファイルをオンラインで閲覧

リポジトリは修正、改善、追加の例で定期的に更新されます。定期的に更新を確認するか、GitHub でリポジトリをスターおよびウォッチして変更の通知を受け取ってください。

コードのエラーを発見した場合や改善の提案がある場合は、GitHub で issue を開くかプルリクエストを送信してください。コミュニティからの貢献は、このリソースをすべての方にとってより良いものにします。

ビデオチュートリアル

書かれたコンテンツを補完するものとして、本書は主要な概念を解説し追加のデモンストレーションを提供するビデオチュートリアルによってサポートされています：

<https://youtube.com/@giswqs>

ビデオは書かれた資料を補完するものであり、置き換えるものではありません。特に以下の方に役立ちます：

- コードがリアルタイムで書かれ実行される様子を見ることで恩恵を受ける視覚的な学習者
- モデル訓練や推論などの複雑なワークフローを、ステップバイステップの解説で理解したい方
- 地理空間問題へのアプローチ方法や一般的な問題のデバッグ方法を見たい方
- 大規模な衛星データセットの取り扱いに関するヒントとベストプラクティスを学びたい方

本書の進化に合わせて、追加のビデオチュートリアルが追加されます。新しいコンテンツの通知を受け取るために、チャンネルを登録してください。

コミュニティとフィードバック

読者からのフィードバック、質問、提案を歓迎します。皆さまの意見は本書の改善に役立ち、GeoAI コミュニティにとってより有用なものにします。

本書に関する質問とディスカッション：

- GitHub Issues: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

パッケージ固有の質問：

- geoai: <https://github.com/opengeos/geoai/issues>
- leafmap: <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- segment-geospatial: <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

特に役立つフィードバックの種類：

- テキストやコードの誤りや不明確な説明

- 追加の例、データセット、ユースケースの提案
- 異なるオペレーティングシステム、GPU 構成、ライブラリバージョンでの互換性の問題の報告
- 新しいトピックや新興の GeoAI 技術をカバーするためのアイデア
- 本書の技術を自分の仕事に適用した成功事例

著者について

Qiusheng Wu 博士は、テネシー大学ノックスビル校地理学・サステナビリティ学科の准教授兼大学院研究ディレクターです。また、Amazon Scholar としても活動しています。Wu 博士の研究は、クラウドコンピューティングと GeoAI を通じたオープンソースの地理空間分析の推進に焦点を当てており、特にビッグ地理空間データと人工知能を活用した環境変化、特に地表水と湿地の浸水ダイナミクスの研究に重点を置いています。

Wu 博士は、Google Earth Engine のインタラクティブ可視化のための [geemap](https://geemap.org)¹、汎用的な地理空間マッピングのための [leafmap](https://leafmap.org)²、Segment Anything Model の地理空間データへの適用のための [segment-geospatial](https://samgeo.gishub.org)³、高レベルの GeoAI ワークフローのための [geoai](https://opengeoai.org)⁴ など、広く使用されているいくつかのオープンソース Python パッケージの作成者およびメンテナです。GitHub 上の [Open Geospatial Solutions](https://github.com/opengeos)⁵ 組織を通じて公開されている氏のオープンソースプロジェクトは、世界中の研究者、教育者、実務者に広く採用されています。

Wu 博士の研究は、リモートセンシング、地球観測、人工知能を橋渡しし、大規模な地理空間データをよりアクセスしやすく、再現可能で、インテリジェントなものにすることを目指しています。氏はオープンサイエンスに情熱を持ち、地球を理解するための最良のツールはすべての人に無料で利用可能であるべきだと信じています。

ライセンスと著作権

本書はオープンサイエンスとオープン教育の原則を採用しています。透明性、学習、再利用を支援するため、本書のコード例は [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) ライセンスのもとで公開されています。これにより、適切なクレジットが与えられる限り、商業目的を含め、コードを自由にコピー、修正、配布できます。

コードの使用を帰属する際は、本書を引用するか GitHub リポジトリにリンクしてください：

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

コードは無料で利用可能ですが、本書のテキスト、図、画像は著者により著作権© 2026 で保護されており、明示的な許可なく複製、再配布、修正することはできません。これには、特に断りのない限り、すべての書かれたコンテンツ、カスタム図表、埋め込み可視化が含まれます。

本書のコード以外の資料を再利用または改変する場合（例えば、教育、プレゼンテーション、出版のため）、著者に連絡して許可を求めてください。

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.gishub.org>

⁴<https://opengeoai.org>

⁵<https://github.com/opengeos>

この二重ライセンスアプローチは、学習資料へのオープンアクセスとオリジナルの創造的作品の保護のバランスを取ることを目的としています。これらの条件を尊重し、オープンソース地理空間コミュニティを支援いただきありがとうございます。

オープンソース地理空間AIのための実践ガイド

人工知能は、私たちが地球を分析し理解する方法を大きく変えつつあります。『GeoAI with Python』は、衛星画像や航空写真からベクターデータセット、地球観測アーカイブに至るまで、地理空間データにAI技術を適用するための決定版の実践ガイドです。

各章には、実データを用いたJupyterノートブックが付属しており、手を動かしながらすべての結果を再現できます。AIを探索するGIS専門家にも、初めて空間データを扱うデータサイエンティストにも、本書は両者の世界をつなぐ架け橋となります。

Qiusheng Wuはテネシー大学の准教授であり、Amazon Scholarでもあります。

geemap、leafmap、segment-geospatial、geoaiなど、広く利用されている複数のオープンソース地理空間Pythonパッケージの開発者です。彼のプロジェクトは <https://github.com/opengeos> で公開されています。

学べる内容

- NAIP、Sentinel-2、STACカタログからリモートセンシングデータをダウンロードし、前処理する方法
- セグメンテーション、物体検出、土地被覆分類のためのディープラーニングモデルのトレーニング
- SAM 3、Moondream、衛星エンベディングなどの基盤モデルを実世界の課題に適用する方法
- 地理空間解析のためのインタラクティブな地図と可視化の構築
- セグメンテーション、トレーニング、推論、ビジョン・ランゲージモデルに対応したQGISプラグインの活用



QRコードをスキャンして書籍のウェブサイトへアクセスし、<https://book.opengeoai.org> からコード例をダウンロードできます。

