

## 国連ベクトルタイルツールキットによる公的な地理空間情報の活用推進

藤村英範（ふじむら ひでのり）  
国際連合事務局 地理空間情報課

### 1. はじめに

本稿では、シェアの高いウェブ地図プラットフォームが使用しているものと同種の技術を公的機関も使えるようにする「国連ベクトルタイルツールキット」を通じた、公的な地理空間情報の活用推進の試みを紹介する。

情報環境のデジタル化と情報端末のモバイル化により、地図の提示環境は大きく変化した。モバイル情報通信の帯域の拡大に伴い、活動の現場での高速でリアルタイムな表示は、地図にとって必須の機能となりつつある。ここで、高速であるとは、地図描画がユーザ操作からの遅れが一定の許容範囲内にあることを意味することとする。リアルタイムであるとは、実世界での具体的な行動に必要な情報の提示が、実際の行動を可能にするタイミングで行えることを意味することとする。また、本稿では、インターネットを用いてモバイル端末を含む情報端末に提示する地図をウェブ地図と呼ぶことにする。

ここで、今回紹介するプロジェクトの名前にも含まれている「ベクトルタイル」とは何か説明したい。そのためには、まずウェブ地図における「タイル」という情報伝送方式を説明し、その上で、その情報伝送方式にベクトルデータを乗せた「ベクトルタイル」の経緯と利点について説明する。

ウェブ地図を高速でリアルタイムに表示するための手法は、古くから検討されてきた。地図の呼び出しの空間的な局所性に着目し、情報の伝送から表示までの遅れを予測可能な小さなものにするために、地図を空間的にモザイク化してストリームの伝送する方法は、広く使われてきた。地図をモザイク化した一つ一つのデータ片は、一般的に「タイル」と呼ばれている。タイルとは、地理空間情報を互いに隣接するモザイクに分割した表現であり、行と列の二つのインデクスによってアクセスできるデータであると定義されている（Open Geospatial Consorti-

um, 2018）。現在、幅広く実用されている大規模なウェブ地図はすべて、タイル方式を用いている。

地図は、古来より線画によって表現されてきた。他方、計算機によるグラフィック表現にはベクトルとラスタの区別がある。本来、地図は線画、すなわち点・線・面で表現される以上、ベクトルデータとして取り扱われることが自然であり、合理的である。しかし、計算機の描画性能や情報管理上の制約から、地図情報の維持管理は当初ラスタ方式が優勢となり、その後にベクトル方式に転換された。地図データをインターネット技術によって情報端末に伝送して表示するウェブ地図も、当初はラスタ方式が優勢となり、その後にベクトル方式に転換されることになる。例えば、Web 2.0を象徴する Google Maps は、その初期段階においてはラスタ方式で地図タイルを伝送した。これは、当時のウェブブラウザのベクトルグラフィックス表現能力の制約に応じた設計を行ったためであると考えられる。

その後、2010年にリリースされた Google Maps 5.0 for Android (Google, 2010) を皮切りとして、シェアの高いウェブ地図においては、段階的にベクトル方式が採用されてきた。Google が自社においてそのベクトルタイルグラフィックス機能を十分に把握できる Android において最初にベクトル方式転換が進んだことは、性能の高いベクトルタイルグラフィックス機能の性能を十分に発揮させることが、ベクトル方式のウェブ地図の実現には重要であることを示唆しているように思われる。

ベクトルタイルは、地図を構成する線画データを端末まで送付するので、端末で動的に地図のスタイルを変更したり、地図上の属性を対話的に取り出したり、地図からウェブリソースにハイパーリンクしたりすることを可能とする。また、ベクトルタイルは、適切に設計すればラスタ方式のタイル（画像タイル）よりもデータサイズを小さくすることができる。シェアの高いウェブ地図プラットフォームで

は、今やベクトルタイルは標準的なウェブ地図技術として利用されている。しかし、シェアの高いウェブ地図プラットフォームで使用されている技術は必ずしもオープンソースになっているわけではなく、公的機関を含む周辺のプレイヤーにとって、ベクトルタイルは自らゼロベースで開発するには高価すぎる技術となっていた。

ウェブ地図を実現するためのソフトウェアのオープンソース化の触媒となったのは、2004年に開始されたOpenStreetMapプロジェクトであろう。自由なライセンスと自治的なルールのもとで開発されるベクトル地理空間情報の存在は、そのベクトル地理空間情報を利用したり編集したりするためのソフトウェアのオープンソース化を加速した。結果として、2000年代後半には、シェアの高いウェブ地図プラットフォームの進展と並走する形で、類似技術のオープンソース実装が進む形になった。2010年代に入り、オープンソースアプローチを採用するいくつかの企業が、オープンソースのベクトルタイル技術の開発を進めた。Mapboxは、ベクトル地理空間情報を効率的に格納できるオープンライセンスのベクトルタイルフォーマットとしてMapbox Vector Tile Specificationを開発した (Mapbox, 2014a)。2014年には、このフォーマットに準拠したベクトルタイルを利用できるオープンソースのウェブ地図ライブラリであるMapbox GL JSを公開した (Mapbox, 2014b)。これを皮切りに、シェアの高いウェブ地図プラットフォーム以外のプレイヤーがベクトルタイル技術を相次いで採用する流れが生まれた。2015年にはデスクトップ地理情報システム (GIS) の大手企業であるesriがMapbox Vector Tile Specificationを採用した (Andrew Turner, 2015)。2018年にMicrosoftから一般提供が開始されたAzure Mapsにおいても、Mapbox GLが使われていることが確認されている (Microsoft, 2018)。日本企業の中では、ワン・コンパスが、すでに2016年にはマピオンテックラボ上でMapbox GLを使用した地図を公開している (ワン・コンパス, 2016)。

地理空間情報にかかる標準化を行うコンソーシアムであるOpen Geospatial Consortiumは、2018年にVector Tile Pilotを実施し、国際的な標準化の文脈におけるベクトルタイルへの対応について技術レポートを取りまとめたところである (Open Geospa-

tial Consortium, 2018)。

このように、ウェブ地図分野でのベクトルタイル技術への移行は必然的な事象として進行しつつあり、その進行のなかで、とりわけシェアの高いウェブ地図プラットフォーム以外のプレイヤーの間で、オープンソースに手法を用いて技術を共有する流れが有力になっている。こうした一連のベクトルタイルへの移行のなかで、ベクトルタイルの仕様がゆるやかに収斂しつつあるのが現在の技術動向である。

## 2. 国連ベクトルタイルツールキットの趣旨

上述のとおり、オープンソースのベクトルタイル技術は2010年代半ばから提案されてきたところである。しかし、国際機関や政府機関、あるいは非政府機関等の公的機関のウェブ地図については、公開されるウェブ地図、組織内部で使用するウェブ地図を問わず、ベクトルタイル技術の採用は一般的には進んでいないのが現状である。公的機関のウェブ地図のユーザは、シェアの高いウェブ地図プラットフォームよりも古い技術の利用を強いられることを意味する形となっている。

公的機関のウェブ地図が使用されるのは、プラットフォームの性能が優れているためではない。多くの場合は、行政的な理由等、ウェブ地図の情報内容特有の理由によって公的機関のウェブ地図が使用されている。そうであるからこそ、公的機関のウェブ地図は、シェアの高いウェブ地図と同種の高度なオープンソース技術に依拠することで、利用者の業務の効率化に貢献することができる。また、自らの事業をより効率的・効果的に実施できる可能性を高めることができる。このため、先進的な地理空間情報当局を中心に、オープンソース技術を用いたベクトルタイルへの移行が始まりつつある。

日本では、2014年に国土交通省国土地理院が国土地理院ベクトルタイル提供実験を開始した (国土交通省国土地理院, 2014a)。同年から、同院は地理院地図パートナーネットワークを通じて民間等のパートナーと対話を進めている (国土交通省国土地理院, 2014b)。それとともに、世界最先端のベクトルタイル提供事業を実現するための研究開発を進めている (国土交通省国土地理院, 2014c)。

英国陸地測量部は、2019年1月28日に、英国を

カバーするベクトルタイル基本図である OS Open Zoomstack を正式リリースした (Ordnance Survey, 2019)。

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya は、OpenICGC イニシアティブの中で、カタルーニャのベクトルタイル基本図等の提供を行っている (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2018)。

このような形で、先進的な公的機関が積極的にオープンソース方式のウェブ地図を取り入れようとしている中、2018年9月には、国連事務総長は国連事務局の新技術戦略を公表した (United Nations, 2018)。この新技術戦略の5原則は次の通りである。

- (1) 普遍的な価値観を保護し、推進する
- (2) 参加と透明性を促進する
- (3) パートナーシップ方式で活動する
- (4) 既存の能力及び権限を活用する
- (5) 謙虚かつ継続的に学び続ける

国連事務局の地理空間情報担当は、従前よりベクトルタイルの試作を行うなど、ベクトルタイル技術に注目してきた。また、2016年には、国連活動の必要に応じたオープンソースの GIS バンドルを特定し開発するための参加型のイニシアティブである「国連オープン GIS イニシアティブ」を立ち上げた。

こういった状況に鑑み、筆者は2017年に国連オープン GIS イニシアティブのスパイラル4のプロジェクトとして「国連ベクトルタイルツールキット」を立ち上げた。このプロジェクトは、公的機関を想定ユーザとし、既存のオープンソースソフトウェアを最大限に活用しつつ、未だ共有化されていない機能を新たにオープンソースソフトウェアとして展開することで、あらゆるプレイヤーがシェアの高いウェブ地図プラットフォームと同種のベクトルタイル技術にキャッチアップできるようにすることを目的とするプロジェクトである。公的機関がベクトルタイル技術にキャッチアップすることで、ウェブ地図の技術が高い方に収斂することになるため、このプロジェクトは、公的機関、公的機関のウェブ地図のユーザのみならず、シェアの高いウェブ地図プラットフォームを含めたウェブ地図の世界全体に利益をもたらし得るものであると考えている。

地理空間情報当局間の技術移転を促すことにより、地理空間情報の整備及び活用推進を目指したプロジェクトとしては、1992年から2017年までの歴史を持つ「地球地図プロジェクト」があった (植田ら, 2017)。国連ベクトルタイルツールキットは、地球地図プロジェクトの目標を引き継ぐ性格を持つプロジェクトでもある。地球地図プロジェクトのようなデータを直接取り扱うプロジェクトと比べて、国連ベクトルタイルツールキットのようなソフトウェアは、地理空間情報を扱う公的機関同士も協調しやすい傾向がある。国連の持つ、いわゆる招集力 (convening power) をも活用し、国連ベクトルタイルツールキットを通じて、公的機関同士の協調を促進していくことが望ましい。

他方で、国連ベクトルタイルツールキットはオープンソースソフトウェアのプロジェクトであるため、プロジェクトが持続していくためには、オープンソースカルチャーの性質をよく踏まえた運営を行なっていく必要がある。

### 3. 国連ベクトルタイルツールキットの技術課題

国連ベクトルタイルツールキットが支援するワークフローは、次のステップから構成される。

- (1) ソースデータからのベクトルタイル生産
- (2) 生産したベクトルタイルのホスト
- (3) ベクトルタイルへのスタイルづけ
- (4) ベクトルタイルのサイズの最適化

国連内部の基本図ベクトルタイルの生産と活用を推進しつつ、加えて様々な公的機関のニーズにも対応することでプロジェクトを持続可能にする目的のため、次の技術課題を特定した。

- (1) 様々なデータソースに対応できるよう、ソフトウェアを柔軟に保っておくこと。
- (2) 地球規模の基本図ベクトルタイルを連続自動更新できること。
- (3) 現場のモバイルデバイスでも使えるベクトルタイルをホストできること。
- (4) 既存のエンタープライズ・フレームワークとの相互運用性を確保できること。

## 4. 国連ベクトルタイルツールキットの構成

国連ベクトルタイルを構成するにあたっては、プロジェクト実施の時点で既に実績が確認されている次のオープンソースソフトウェアを特に活用した。

- (1) Tippecanoe：コマンドラインインタフェースで大規模データからベクトルタイルを生産できるソフトウェア
- (2) Maputnik：Mapbox Style形式のベクトルタイルスタイルをウェブブラウザ上で編集できるソフトウェア
- (3) Mapbox GL：ウェブ、モバイル、デスクトップの環境でカスタマイズ可能な地図表示を可能とするライブラリ群。国連ベクトルタイルツールキットでは、ウェブブラウザでのベクトルタイルの表示にMapbox GL JSを使っているほか、サーバ側でベクトルタイルを画像化する際にnode-mapbox-gl-nativeを使用している。
- (4) Vector Tile optimizer：ベクトルタイルのサイズ分布を評価することで、ベクトルタイルスキーマの最適化を支援するソフトウェア
- (5) Osmium Tool：OpenStreetMapのデータをコマンドラインインタフェースで取り扱うプログラム。osm.pbf形式のデータを直接扱う場合に使用している。

これらの既存のオープンソースソフトウェアの機能を、実務上の課題や要件に対応した形で適切にすぎ合わせたり、データソースの更新頻度等の特性に応じた効率的な形でベクトルタイルをホストしたりするため、Node.jsスクリプトを多数実装した。国連ベクトルタイルツールキットの持続可能性を高める目的で、これらのスクリプトも既存のオープンソースソフトウェアと同様に、オープンソースライセンスのもとで公開することとした（UN Vector Tile Toolkit, 2018）。

## 5. 国連ベクトルタイルツールキットの実装アプローチ

ベクトルタイルを生産するため、あるいはホストするために開発されたオープンソースソフトウェアは、上記で紹介したもの以外にも数多く存在する。それらソフトウェアの多くは、OpenStreetMapのデータ構造に特化していたり、地理空間情報を格納したリレーショナルデータベースに直結していたり、少量の主題データの変換を得意としていたりする。

他方で、国連ベクトルタイルツールキットは、多様なデータ構造を持ち、サイズも数十GBを超える基本図データを、柔軟かつ高いスループットで処理できる必要があった。また、公的機関においては必ずしも情報技術基盤が十分であるとは言えず、リレーショナルデータベースの管理やチューンアップを行える人材を継続的に確保できるとも限らない。加えて、基本図ベクトルタイルは、半年ごとや3ヶ月ごとではなく、可能な限り日次更新に近い頻度で更新されることが望ましい。

また、公的機関で使用されているアプリケーションを実現しているソフトウェアフレームワークを確認したところ、既存のフレームワークには必ずしも最新技術が採用されておらず、ベクトルタイルのような最新の技術を高速かつ安定的に使うことは必ずしも容易ではないことが明らかになった。

これらの状況を踏まえ、国連ベクトルタイルツールキットの実装にあたっては、次に掲げる技術的アプローチをとることとした。

- (1) 変換時スキーマ調整（on-the-fly vector tile schema modification）：ベクトルタイルのデータ構造は、ウェブ地図の性能の最適化や、ウェブ地図の表現の調整、ウェブ地図の機能の拡張に合わせて柔軟に変更できる必要がある。国連ベクトルタイルツールキットでは、ソースデータをベクトルタイルに変換する流れの中でデータ構造の調整を行うことにし、その調整内容を表現したプログラムはJavaScript関数の形で容易に差し替えできるようにした。これにより、ベクトルタイルのデータ構造の調整ループを高速に回すことができるようになった



上、変換の一時データを保存する必要がなくなり、変換の高速化にも寄与することとなった。

- (2) タイルモジュール群 (mbtiles module farm) : OpenStreetMap の地球規模のデータは、比較的格納効率のよい osm.pbf 形式でも 2019 年 4 月時点で 44 GB 程度の大きさとなっている。他方、通常パーソナルコンピュータで取り回しやすいデータのサイズは数 GB 程度である。地球規模のデータを取り回しやすい形で扱い、変換待ちの時間や変換失敗時の手戻りを少なくするため、空間的な範囲によってデータセットを分割し、処理のスループットを大幅に向上した。具体的には、全世界を総数 4096 個のグリッド (ズームレベル 6 のタイル範囲群) のモジュールに分割し、それぞれを並列に変換できるようにするとともに、データを提供する段階においても、それらのモジュール群を仮想的に一つのタイルセットで扱えるようにした。
- (3) リアルタイムサーバサイド画像タイルレンダリング (real-time server-side image tile rendering) : 地理空間情報を取り扱う既存のエンタープライズフレームワークは大規模で複雑である。このため、そのようなフレームワークが使用しているフロントエンドのウェブ地図ライブラリは必ずしも最新のものではなく、ベクトルタイルの取り扱いについては数年前の技術を用いているものも散見された。国連ベクトルタイルツールキットが生産するベクトルタイルは、このような古い技術に立脚したシステムとも相互運用できる必要があった。数年前のベクトルタイル技術は、最新のベクトルタイル技術と比べて表示速度が遅く、しかもその仕様が収斂していない。このため、それぞれのフロントエンドライブラリの癖を把握して、場当たりの工夫を積み重ねることは開発効率が悪いと判断した。また、そのような場当たりの工夫を用いて古いライブラリでベクトルタイルを表示することに成功したとしても、その表示性能が画像

タイルを使った場合より劣後するようであれば、その開発工数はエンドユーザからは無益であったということになりかねない。ここでウェブ地図の歴史を振り返ったところ、ウェブ地図が画像タイルベースのものからベクトルタイルを活用したものに切り替わる際に、サーバではベクトルタイルを管理しつつ、クライアントには画像タイルを送付する「2.75 世代」の技術が存在した (Tom MacWright, 2015) ことを想起できる。国連ベクトルタイルツールキットでは、この 2.75 世代の技術をあえて再実装し、サーバに格納されたベクトルタイルをクライアントに送付する都度変換するリアルタイムサーバサイド画像タイルレンダリングを組み込むことにした。この実装アプローチをとることで、軽微な性能ペナルティと引き換えに高い相互運用性を確保することとした。

## 6. 公的機関での運用のためのアウトプット

本プロジェクトでは、OpenStreetMap データと国連内部用データを統合した地球規模の背景地図を生産・提供するソフトウェア一式を開発した。

国連事務局では、日次更新される PostGIS データベースから自動的・連続的にベクトルタイルを更新することを予定している。このような更新を実現するため、更新領域情報を活用しながら自動的・連続的に PostGIS データを引き出し、ベクトルタイルに変換する機能の実装を進めた。しかし、プロジェクトの進捗中に、PostGIS データベースインフラストラクチャの強化に時間を要することが明らかになった。そこで、PostGIS データベースからの読み込みとは別に、planet.osm.pbf データおよび GeoJSON Text Sequences 形式の国連用データからベクトルタイルを生産する機能もあわせて開発した。

生産したタイルモジュール群を入力とし、性能が出やすい HTTP/2 プロトコルに従ってベクトルタイルを提供するためのベクトルタイルサーバを開発した。加えて、上記ベクトルタイルサーバに組み込む形で、リアルタイムサーバサイド画像タイルレンダリングの機能を開発した。

## 7. 開発者コミュニティのためのアウトプット

国連ベクトルタイルツールキットの持続可能な開発者コミュニティを形成するため、GitHub 組織レポジトリ `un-vector-tile-toolkit` にソフトウェアおよびドキュメントを逐次集積している。

2018年12月には、OSGeo 財団日本支部の支援により、FOSS4G Asia 2018の会場で、ワークショップ「The OSGeo.JP Workshop for the UN Vector Tile Toolkit」を実施した。このワークショップのために用意した資料およびソフトウェアも公開をしている。

加えて、技術者向けの包括的な文書として The UN Vector Tile Toolkit Primer と題した文書の作成を進めている。この文書では、国連ベクトルタイルツールキットのアーキテクチャ、ツールキットに含まれる代表的なプログラムの構成、ツールキットが活用している既存のオープンソースソフトウェアの紹介、データソースに合わせたプログラムのカスタマイズの仕方など、公的機関の基本図ベクトルタイルの生産と運営に必要な情報を網羅していく。

## 8. 展望

国連ベクトルタイルツールキットは、ウェブ地図を巡るこれまでの技術動向を踏まえ、技術オリエンテッドで企画されたプロジェクトである。それだけに、今後、国連ベクトルタイルツールキットが具体的に運用されていく段階で、ツールキットの真価を試していくとともに、ツールキットを継続的に改善していく必要がある。

他方で、国連ベクトルタイルツールキットは技術的にはキャッチアップ型のプロジェクトでもある。このため、技術開発そのものに新規性のある困難な課題があるというわけではない。既存の技術であるが、未だ十分には共有されていないベクトルタイル技術について、適切に文書化を進め、技術者コミュニティを形成し、育成していくところにこそ国連ベクトルタイルツールキットの課題がある。

技術者コミュニティを形成して育成していくために必要な方針は、次の2点であると考えている。

- (1) 技術者の組織上の分散、地理的分散を許容することができるネットワーキングを行う

こと。ベクトルタイル技術の運用に直接関わることでできる技術者の人数は、事業の性質上、多くはない。また、広がりを持つ領域あるいは専門的な分野を重複なくカバーしていく公的機関の性格上、ベクトルタイル技術を現場で運用する技術者の言語や文化のバックグラウンドは、自ずと多様なものになる。このような少数性と多様性ゆえに、ベクトルタイル技術者は孤立しがちである。その孤立を解消して価値を生み出していくことを国連ベクトルタイルツールキットの存在価値としていくためには、時差を含む地理的な制約を超えて、技術者をネットワーキングするための工夫が必要である。

- (2) 適切な共通課題を掲げ、技術トピックの集中を確保すること。地理的な分散を受けざるを得ない国連ベクトルタイルツールキットのコミュニティが求心力を維持していくためには、コミュニティの共通課題を適切に絞り込み、テンポよく解決し続けていく必要がある。

## 参考文献

- 植田摩耶・安喰靖・笹川啓・宗包晃子・永山透『地球地図プロジェクトの振り返りと完了—1992年から2017年まで』国土地理院時報2017年、129集。
- 国土交通省国土地理院 (2014a), 国土地理院ベクトルタイル提供実験, <https://github.com/gsi-cyberjapan/vector-tile-experiment> (Apr. 1, 2019)
- 国土交通省国土地理院 (2014b), 地理院地図パートナーネットワーク, <https://maps.gsi.go.jp/pn/> (Apr. 1, 2019)
- 国土交通省国土地理院 (2014c), 国土地理院研究開発基本計画, <http://www.gsi.go.jp/common/000092243.pdf> (Apr. 1, 2019)
- ワン・コンパス (2016), マピオンテックラボ, <http://labs.mapion.co.jp/> (Apr. 1, 2019)
- Andrew Turner (2015), Vector Tiles preview, <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-enterprise/mapping/vector-tiles-preview/> (Apr. 1, 2019)
- Google (2010), Under the hood of Google Maps 5.0 for Android, <https://googleblog.blogspot.com/2010/12/under-hood-of-google-maps-50-for.html> (Apr. 1,

- 2019)
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (2018), Open-ICGC, <https://openicgc.github.io/> (Apr. 1, 2019)
- Mapbox (2014a), Mapbox Vector Tile Specification, <https://github.com/mapbox/vector-tile-spec> (Apr. 1, 2019)
- Mapbox (2014b), Mapbox GL JS, <https://docs.mapbox.com/help/glossary/mapbox-gl/> (Apr. 1, 2019)
- Microsoft (2018), Microsoft Software License Terms Microsoft Azure Maps SDK Preview, <https://atlas.microsoft.com/sdk/js/atlas.min.js?api-version=1.2> (Apr. 1, 2019)
- Open Geospatial Consortium (2018), OGC Vector Tiles Pilot: Summary Engineering Report, <https://docs.opengeospatial.org/per/18-086r1.html> (Apr. 1, 2019)
- Ordnance Survey (2019), OS Open Zoomstack released today, <https://www.ordnancesurvey.co.uk/blog/2019/01/os-open-zoomstack-released-today/> (Apr. 1, 2019)
- Tom MacWright (2015), How we got here. <http://tmcw.github.io/presentations/jsgeo/> (Apr. 1, 2019)
- United Nations (2018), Secretary-General's Strategy on New Technologies, <https://www.un.org/en/newtechnologies> (Apr. 1, 2019)
- UN Vector Tile Toolkit (2018), UN Vector Tile Toolkit, <https://github.com/un-vector-tile-toolkit> (Apr. 1, 2019)

---

## 略歴

### 藤村 英範 (ふじむら ひでのり)

国際連合事務局情報通信技術局運用支援部地理空間情報課上級地理空間情報専門官。国連オープンGISイニシアティブのプロジェクトである国連ベクトルタイルツールキットの総括を務める。2002年に東京大学工学系研究科計数工学専攻修了(修士)。国土交通省国土地理院で情報普及課長、国際課長を務める。なお、本稿の内容は、組織の立場を代表するものではない。