

研究報告書

「グローバル・システムの持続可能性評価基盤に関する研究」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2015年10月～2020年3月

研究者: 佐藤 彰洋

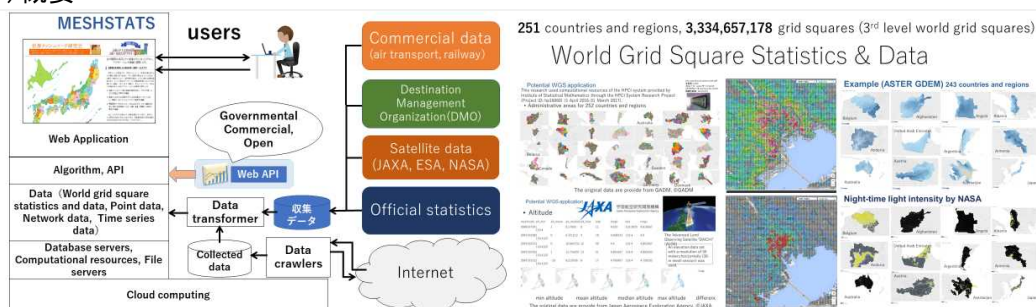
1. 研究のねらい

UNEP のイニシアティブの1つである”持続可能な観光”を定量的に評価するためのデータ駆動型支援システム開発に特化し、金融、輸送、観光に関するデータ・フローを構築し、経済性・供給と需要の計測、移動データの収集と分析、エネルギー消費量・物質投入量の算出、労働・環境の評価などを通じ、観光セクターにおける持続可能性を計量する情報基盤システムを現実のフィールドと相互作用的な評価を行いつつ段階的に建設する。これは、国連が提唱する 2030 年持続可能な開発目標(SDGs)に含まれる、17 の目標と 169 のターゲットを定量的に全世界規模で評価可能とするために必要となるデータ基盤のための必要最小限構成となっている。

特に、データ・フローの構築、指標と計算方法の開発、クラウド型のデータ分析可視化基盤の開発、現実と相互作用しながらプロジェクトを評価する方法論の開発を通じて本研究を実施し、データ、ビッグデータ分析手法、ステークホルダーとのコネクションを蓄積することでアジャイル的に量と質の向上を目指した。この研究により蓄積されるデータ、開発された手法とデータ基盤、ステークホルダーとの関係性により持続可能性を現実世界において定量評価することを可能とし、全世界規模で持続可能性を計測評価するための方式を開発する。このような、基盤技術は全世界規模で今後必要となる持続可能性をデータ駆動的に判断するためのシステムの基盤となるとともに、組織的な基礎を与えることを研究目標のひとつとして設定した。更に、ビッグデータを持続可能性計量に用いることを持続的に可能とするために必要となる、システム維持活動と増殖モード発生のための費用収支モデルの構築と、社会のあまねく対象に対して、データ駆動的観点から持続可能性を社会実装するために、具体的かつ効果的な実装パッケージプログラムの開発を研究目標とした。

2. 研究成果

(1) 概要



全世界規模での持続可能性を計測するために必要とされるデータ・フローを構築するためのデータ収集システムの開発、並びに、商用データ源、衛星データ源、オープンデータ源、公的統計データ源を特定した。更に、世界メッシュコード体系に基づき位置情報付きデータ(ポイントデータ、ポリゴンデータ、グリッドデータ)をメッシュ統計化し、これを公開・普及させるための基盤「世界メッシュ研究所」(<https://www.fttsus.jp/worldgrids/>)を構築するとともに、クラウド型データ可視化分析システム「統計情報可視化システム MESHSTATS」(<https://www.meshstats.xyz/meshstats>)を建設した。

本プロジェクトを通じて開発したコンピュータプログラムとデータを技術資料とともに、オープンソース、オープンデータとして世界メッシュ研究所で公開し、広く世界中の人々が本プロジェクト成果を継続的に利用できる体制を構築した。

日本工業規格地域メッシュコード(JIS X0410)の上位互換性を有する世界メッシュコード体系構成し、世界メッシュコード関連ライブラリとして、5言語(R, PHP, Javascript, Python, JAVA)に対して開発し、世界メッシュ研究所よりオープンソースとして公開した。

世界メッシュ統計データを全世界の行政界ポリゴンデータである GADM、NASA が提供する夜間光画像、経産省が NASA と共同運用する衛星 Tera に搭載される ASTER に基づく 30m 角陸域標高データ、JAXA だいち(ALOS)で作成された 30m 陸域標高データを用いて作成し、251 の国と地域に対して 33 億メッシュ以上(3 次メッシュ)を生成し、世界メッシュ研究所からオープンデータとして公開した。

世界メッシュ統計のユースケースおよび新規データの開発を支えるコミュニティとして世界メッシュ研究所サポーター会員(2020年3月現在 79名)、統計情報可視化システム MESHSTATS のモニターユーザー(2020年3月現在 381名)からなる研究協力を獲得し、定期的に世界メッシュコード研究会を開催することによりオープンイノベーションにより技術の開発と普及を行っていく方法を確認した。

これら技術的、組織的資源を総合的に用いることで、定量化指標と計算方法の確立を意思決定者からの評価フィードバックを通じてアジャイル的に開発することにより、メッシュ統計のユースケースと定量化指標のパターン、計算方法、可視化方法を開発した。

本研究で開発した、統計情報可視化システム MESHSTATS は以下機能を有する。

- ・世界メッシュコードに基づく全世界規模でのメッシュ統計用 Data Infrastructure as a Service (DlaaS)各種データの収集および世界メッシュ統計データの半自動生成を可能とする技術
- ・クラウドベースでのデータ分析可視化機能(GUI)と機械判読可能な API 機能
- ・31の機能(メッシュデータ種類、集計・可視化方式)

統計情報可視化システム MESHSTATS を用いることにより、全世界を世界標準的な規格化されたメッシュ統計データとして取り扱うことが可能であり、かつ、秘匿化された状態でデータを保管、検索、結合分析することが可能である。また、MESHSTATS 上に実装された機能とメッシュ統計の特性を用いることにより、経済社会システムに内在する効率性の改善、潜在的な需要の発見、変化の検出が可能となる。ビッグデータ解析技術として、世界メッシュ統計を半自動で生成するアルゴリズム、メッシュ統計を任意の形状に再集計する機能、異なる場所の構造物配置の特徴を比較する方法、複数のメッシュ統計からパターンを検出する方法を開発した。

(2) 詳細

・研究テーマ1「データ・フローの構築」

OAG からデータを購入手続きにより、全世界規模での日次航空機タイムテーブルデータを5年間分取得し、全世界の航空輸送の状況を把握するとともに、我が国の国際航空輸送可能量の推計を行った。その結果、全世界で年間50億座席の航空輸送容量が存在していることを突き止めるとともに、我が国の年間国際航空容量が約4000万座席(2017年)であることが判明した。

各国の中央銀行のRSSから自動的にデータを取得し、全世界の約60通貨ペアに対する通貨交換レートを自動的に整理統合できるデータ基盤の開発を行った。この機能を用いて MESHSTATS の貨幣価値の自動変換機能を実装した。

多言語対応を行うため、日本語と英語を人間が入力することで自動的に機械翻訳を行う機能と人間によるレビュー機能を有する多言語辞書(語彙基盤)の作成を行った。この機能を用いることで、14か国語で MESHSTATS を利用できるシステムとした。

全世界規模での基礎データとして、JAXA が運用していただいち(ALOS)、経済産業省が NASA と共同運用する地球観測衛星 TERA で運用される ASTER センサー由来の衛星リモートセンシングデータ、および、NASA が公開する夜間光衛星画像をデータ源として、全世界規模での標高と夜間光の世界メッシュ統計データを作成した。更に、土地利用インデックス、欧州、日本、オーストラリアの公的統計由来メッシュ統計を世界メッシュへ変換することにより、様々な世界メッシュ統計を作成することができ、最終的に2,000種類以上、33億メッシュ(3次元メッシュ)以上の世界メッシュ統計の作成と、インターネット由来のホテル宿泊プランメッシュ、求人メッシュを日次で自動生成することに成功し、研究計画で記した政府統計とインターネット上のビッグデータを合成することによる、これまでになかった高頻度統計を実現した。

・研究テーマ2「情報基盤システムの構築」

構築した世界メッシュ統計を任意の場所と分野に対して Web ブラウザ経由で抜き出し、分析・可視化するためのシステム「統計情報可視化システム MESHSTATS」をクラウドサーバー上に構築した。このシステムをモニターユーザーに開放し、データ利用の方法、データ分析のユースケースや、関心とするデータ分野について VoC(Voice of Customer)の手法を利用して、聞き取り調査と意見収集を研究会(世界メッシュコード研究会)において実施することで、システム開発とデータ開発の仕様と要求の抽出を行った。

更に、グラフィカル・ユーザー・インターフェースを聞き取りした仕様をもとに開発、世界メッシュ統計を簡単に可視化し、相関パターンの検出や、外れ値の特定を行うことができるデータ分析機能を実装した。これらの仕組みはソフトウェア・データマイグレーションモデルに従い、クライアント上に送り込まれたソフトウェアとデータによりサーバーとの通信なしにインタラクティブ分析を実現している。

「統計情報可視化システム MESHSTATS」は世界メッシュ統計に特化した、Data Infrastructure as a Service(DlaaS)であり、様々な分野で活動するモニターユーザーへ提供している。この研究を通じて、世界メッシュ統計を半自動的に連続生成し、サービスとして提供する方式のワークフローとフレームワークを開発した。こ

のようなワークフローとフレームワークの構築および世界標準に準拠したシステムの開発が可能となることは当初の予想を上回る成果となった。

更に、複数の MESHSTATS を相互接続して利用し、ハイブリッド型 P2P システムとして MESHSTATS を連動動作の実証確認を一部行った。この技術により、異なる組織と異なる国で生成される世界メッシュ統計を自律分散的に生成・保管・融通・利用することができる世界メッシュ統計基盤が実現できる日途が立った。ビッグデータプラットフォーム、基幹ソフトウェアの開発と、普及体制の構築が必要であることから、基幹ソフトウェア・ミドルウェアを継続的に開発する必要があるが、現段階でいくつかのソフトウェアの一部開発が完了し、試作段階であるものの、その運用実験で作動を確認することができた。

・研究テーマ3「世界規模での情報基盤システムへの拡張」

14か国語、31種類(データ種別×集計種別×分野)の機能を個別ユーザー管理のもとで、提供するシステムとして、全世界規模で世界メッシュ統計データを提供することができるシステムとして、日本国内で開発した機能をその国の人が、その国の言葉で、その国の世界メッシュ統計を自身の国のために開発されたシステムであるかのように提供可能なシステムとして拡張を完了した。内部には、14か国言語(日本語、英語、イタリア語、ドイツ語、スペイン語、韓国語、ベトナム語、中国語簡体字、中国語繁体字、ポーランド語、タイ語、トルコ語、フランス語、アラビア語)、1,500 単位以上の多言語語彙基盤を有し、機械翻訳 API を用いた、自動翻訳機能と多言語環境でレビュー機能を有する機能が埋め込まれている。これにより、システム内部で言語的専門能力を有する専門家が Web ブラウザを通じて世界どこからでも言語テーブルの編集作業を行うことができるシステムとなっている。このシステムを通じて、在日ベトナム人研究補助者、在日中国人研究補助者、ドイツ在住の研究協力者、タイの在住の研究協力者、米国在住の翻訳者が語彙基盤のレビュー作業に従事することにより、多言語環境の精度向上が機械翻訳と連動させることで可能であることを実証した。更に、ドイツ在住の研究協力者は統計情報可視化システム MESHSTATS を利用することでビッグデータ教育プログラムの開発を行っている。

・研究テーマ4「実際のフィールドと相互作用する評価」

平成27年度(2016年3月17日)に京都大学においてキックオフワークショップ(20名参加)、平成28年度に、イタリア・マテラ(2016年7月9日)、ドイツ・ハンブルグ(2017年3月8日)、イタリア・トリノ(2017年7月6日)において国際ワークショップを共催し、国際的な参加者とともに、世界メッシュ統計の利用方法の紹介と、MESHSTATS の利用シーンを説明した。更に、国連世界観光機関技術と観光部会に Google と計画の提案を行い、各国の観光分野の専門機関へ世界メッシュ統計と MESHSTATS を紹介するとともに、自国の観光施策の実現に世界メッシュ統計が利用可能であることを、我が国の公的統計由来メッシュ統計の利活用方法を紹介することにより説明を行った。平成30年12月3日には京都大学時計台百周年記念館において最終成果報告会(世界メッシュ統計シンポジウム)を開催(のべ約60名の参加)し、これまでの研究成果について説明するとともに、世界メッシュ統計に関連する招待講演12件とパネルディスカッションによる本研究活動の総括を行った。



この最終成果報告会を契機として、参加者および講演者との間の共同研究が促進され、その後も、データ利活用のユースケース開発(HR 分野、観光分野)とメッシュデータ開発(医療分野)を企業実務家、大学研究者と

実施している。2019 年度は5回の世界メッシュコード研究会を開催し、社会実装のための要求と仕様情報の収集および研究成果物の浸透を図った。

3. 今後の展開

これまでの研究から、世界メッシュ統計を作成できる位置情報付きデータの種類の、世界メッシュ統計の生成方法は特定できた。インターネット上で公開されている位置情報付きデータを用いて、10,000種類以上のメッシュ統計を作成することが可能である目途が立った。更に、衛星リモートセンシングデータを用いることにより、全世界規模で衛星データ由来世界メッシュ統計を実時間に近い頻度で生成することが可能である技術的目途が立った。これにより、全世界規模で世界メッシュ統計データを生成し、流通させること、および、複数連動する MESHSTATS に組み込むことで異なる分野で収集される位置情報を含むデータを連結分析し、組織をまたぎ相互融通することができることが分かった。

この技術を用いることにより、様々な分野で収集蓄積されているが、利用が未着手または、データフォーマットが異なるため相互利用が十分にすすんでいないデータを相互に結合、統合して分析することが全世界規模で可能となると見込まれる。これにより、データに基づき、持続可能性を計測する技術や、公的統計の近代化、調査無き統計などを社会実装できる基盤技術として開発した研究成果を利用、普及することができる技術的目途がたつた。

2019 年度を通じて、エコシステムを構成するために必要となる、世界メッシュコードで作成されたデータを公開する企業や利用する非営利団体、政府関係機関と協調を深めており、本研究内容として開発したデータ駆動型ワークショップパッケージは、教材資料(ブックレット資料、講義資料)を基に、安定的に運用できる程度まで蓄積できている。このデータ駆動型デザインワークショップパッケージを最大限に活用し、企業または組織における研修機会を活用しながら、世界メッシュ統計データを生成、利用し、統計情報可視化システム MESHSTATS を開発・運用・利用する人と組織を着実に増やしていくことが可能である。今後の課題として以下2点が特に重要である。

- ・分野横断的にメッシュ統計の利活用ユースケースを開発しつつ、それらを普及させ、市場規模を成長させていくこと

- ・空間・種類ともに膨大な生成され続ける世界メッシュ統計データを性質・品質・能力などから特徴づけ、流通、発見、選択を可能とするとともに、可視化・高次元データからのパターンを発見、複合イベント検出を可能とする高次統合方式の開発

4. 自己評価

本研究では、全世界規模での世界メッシュ統計基盤技術と世界メッシュ統計データの大規模な開発を目標とし、持続可能性をエビデンスより評価可能とするクラウド型基盤の開発と、データコミュニティーの開発を目指した。研究開始当時 2015 年 10 月においては、世界メッシュ統計のライブラリは R 言語で部分的に地域メッシュコードの計算ができるのみであったが、研究開始後、R 言語による世界メッシュコード関連関数の開発に成功し、その後、このライブラリの移植作業とこのライブラリを用いた世界メッシュ統計データの作成に着手した。2018 年 9 月時点で、衛星データ由来の世界メッシュ生成技術を確立し、世界メッシュ統計の種類は 500 種類を超え、世界メッシュ統計は世界 251 の国と地域に対して、33 億メッシュ以上にまで到達した。データ・フローの構築は当初の予想を上回る成果となった。開発したライブラリと世界メッシュ統計はオープン化しプロジェクト Web ページである世界メッシュ研究所(<https://www.fttsus.jp/worldgrids/>)より日本語、英語、中国語(繁体、簡体)、ベトナム語で公開するとともに、2018 年 2 月 15 日に京都大学、科学技術振興機構、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、MM 総研の連名でプレスリリースを行った。

世界メッシュ統計を任意の場所と分野で抜き出し、集計方法と可視化方法で再集計するためのクラウドベースでの分析基盤「統計情報可視化システム MESHSTATS」(<https://www.meshstats.xyz/meshstats/>)をアジャイル的に開発し、31 機能と 14 か国言語(日本語、英語、ドイツ語、イタリア語、スペイン語、タイ語、ベトナム語、中国語繁体字、中国語簡体字、フランス語、アラビア語、ポーランド語、トルコ語、韓国語)で利用し、全世界規模で、世界メッシュ統計を抜き出し、可視化、分析ができる機能を有するシステムとなってきた。本研究で目標としたデータ分析システムの国際化の目標を十分に達成することができた。

本研究の最終成果報告会(2018 年 12 月 3 日開催)において、評価委員 10 名による研究プロジェクト評価を実施した。評価委員はこれまで、過去2年以上に渡り、本プロジェクトへの参加、打ち合わせや研究会参加活動経験が3回以上ある研究者、実務家を対象とした。本研究プロジェクトで開発された研究成果である世界メッシュ統計データのビッグデータ度、統計情報可視システム MESHSTATS の充実度、指標の有益度、研究プロジェクトへの協力・参加により得られたメリットの有無などから多面的主観評価尺度を構成し、アンケート調査方式で意見の収

集を行った。その結果、ビッグデータ度は80%の評価者が豊富または利用しきれないくらい豊富と答え、プロジェクトの成果物である統計情報可視化システム MESHSTATS の充実度は70%の評価者が実用に耐えられる30%の評価者が更なる開発を求めると回答した。更に、90%の評価者は活動で何らかの恩恵を得ていたことが判明した。2019 年度は社会実装をテーマに世界メッシュコード研究会を5回開催するとともに、京都大学サマーデザインスクールにおいて世界メッシュ統計アプリケーション・ユースケース開発ワークショップの試作を行った。

世界メッシュコードを緯度経度と関連づける計算ライブラリ、基本的世界メッシュ統計はオープンデータとして公開しているが、これらのオープンライブラリ、オープンデータに関する問い合わせや、利用方法の照会が行われている。世界メッシュコード研究会の開催実績はプロジェクト開始より、20回を超え、引き続き研究会開催がプロジェクト終了後である 2020 年 4 月以降においても統計数理研究所共同利用研究集会および、継続プログラムの一環として継続実施できる体制となっている。世界メッシュコード研究会の登録者数は日本全国で約80名に達し、研究会開催時には常時10名以上の参加者が集い、オープンイノベーションによる世界メッシュ統計利用シーンとユースケース開発およびデータ仕様とシステム要求の開発に協力して頂いている。

世界メッシュ統計基盤である MESHSTATS のマイクロサービス化(自律分散システムとして稼働可能なシステム能力の異なる複数の計算機基盤上で稼働する MESHSTATS 群によるシステム多重構成化)の試験運用にも成功した。これにより、研究開始当初に設定した MESHSTATS 稼働のためのクラウド計算機環境(IaaS)の維持費用と比較して約 1/100 の運用維持費で、最小構成システムの MESHSTATS を継続運用できる目途が立った。この廉価版 MESHSTATS の安定的な運用実証として、<https://www.meshstats.com>において、各種サービスを提供し、これまで開発・運用してきた<https://www.meshstats.xyz>に加えてサービスを多重的かつ分散的に提供できる状況に至った。更に、総務省・独立行政法人統計センターとの共同研究開発と支援を得て<https://www.meshstats.net>を運用し、独立システム上で MESHSTATS のデータサービスとデータ分析可視化機能および、Web API によるデータ配信機能を提供できる体制となっている。

そのため、2020 年 3 月に本研究課題が終了した後も、本研究で開発した世界メッシュ統計データおよびクラウド型のビッグデータ分析可視化基盤である MESHSTATS は継続的に運用できる体制が整った。佐藤彰洋「メッシュ統計」(共立出版,2019)を 2019 年 7 月に出版し、広くメッシュ統計に対する知識と技術を伝えていけるようにするとともに、世界メッシュ研究所(<https://www.fttsus.jp/worldgrids>)において計算プログラムと参考文献を公開し、読者サポートを行っている。書籍出版にかかる印税収入は世界メッシュ研究所 HP 維持に使用することで、世界メッシュ研究所の継続性の担保が可能となった。更に、横浜市立大学奨学寄附金制度を利用することにより、「世界メッシュ統計によるデータ駆動型企画支援システム構築に関する研究」として研究継続に必要な資金提供受け取ることができる体制を構築した。更に世界メッシュ研究所は任意団体として内閣府スマートシティ官民連携プラットフォームのオブザーバーに参加しており、世界メッシュ研究所の一般社団法人化について、繰り返し議論を行い、協力・連携組織と協議を行っている。

これらのことから、本研究計画の進捗度は、計画通りまたはそれを上回った成果を生み出しており、研究計画終了後においても研究成果物の維持並びに自己増殖的な発展すら経済的、組織的に可能な体制を構築できるようになった。本研究プロジェクトへモニター参加、共同研究、連携等による協力者数の増加は引き続き継続しており、この増加傾向を鑑みると、本研究プロジェクトは当初予想していなかった恩恵を参加者へもたらすものとなっている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Aki-Hiro Sato, Shoki Nishimura, Tsuyoshi Namiki, Naoki Makita, Hiroe Tsubaki, "World Grid Square Data Reference Framework and its Potential Applications", 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), (2018), pp. 398-409, DOI: 10.1109/COMPSAC.2018.00062
2. Aki-Hiro Sato, Paolo Tasca, Takashi Isogai, "Dynamic Interaction Between Asset Prices and Bank Behavior: A Systemic Risk Perspective", Comput. Econ. (2018) pp.1-31, DOI: 10.1007/s10614-018-9792-y
3. Aki-Hiro Sato, Shoki Nishimura, Hiroe Tsubaki, "World grid square codes: Definition and an example of world grid square data", 2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), pp. 4238--4247 (2017), DOI: 10.1109/BigData.2017.8258450
4. Anna Carbone, Meiko Jensen, Aki-Hiro Sato, "Challenges in Data Science: a complex system perspective", Chaos, Soliton and Fractals, Vol. 90 (2016) pp. 1-7, DOI: 10.1016/j.chaos.2016.04.020
5. Aki-Hiro Sato, Hideo Sawai, "Risk Assessment for a Global Air Transport System Using Socioeconomic-Technological-Environmental Databases", 2016 IEEE 40th Annual Computer Software and

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 1 件 (公開前の出願件名については件数のみ記載)

(3) その他の成果 (主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

- ・2019/12/1 佐藤彰洋、椿広計 「メッシュ統計の利活用方法とその課題」, 横幹連合第 10 回カンファレンス オーガナイズセッション OS13 「公的統計におけるデータサイエンスの取り組み」, 長岡科学技術大学, 新潟県長岡市
- ・2019/7/1 佐藤彰洋, 「メッシュ統計」 (共立出版, 2019)
- ・2019/7/1 Aki-Hiro Sato (Ed.), “Applications of Data-Centric Science to Social Design: Qualitative and Quantitative Understanding of Collective Human Behavior”, Springer, Singapore (2019).
- ・2018/11/19 京都大学プレスリリース「統計情報可視化システム MESHSTATS 実用化プロジェクトを開始しました」 (2018 年 10 月 22 日)
http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/events_news/department/jyohogaku/news/2018/181022_1.html
- ・2018/2/15, 科学技術振興機構プレスリリース「衛星ビッグデータと世界位置情報を統合解析する手法を世界で初めて開発～標高ビッグデータで津波リスク予測ほかデータ利活用を促進～」,
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180215/index.html>
- ・2017/11/17, Aki-Hiro Sato, Shoki Nishimura, Tsuyoshi Namiki, Naoki Makita, Hiroe Tsubaki, “World Grid Square Statistics and their application to data analytics”, Joint UNECE/UN-GGIM Workshop on Integrating Geospatial and Statistical Standards, Stockholm, Sweden
https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.58/2017/mtg3/S3_SATO_2017World_Grid_Square_Statisticsv52.pdf
- ・2017/6/23, Aki-Hiro Sato “Data Infrastructure for Data Applications“, 6th UNWTO International Conference on Tourism Statistics: Measuring Sustainable Tourism, 21 June 2017 – 24 June 2017, Manila, Philippines,
<https://custom.cvent.com/E5C28A0D212A415D9AD3C8B699EBC072/files/82661a63c16c4780ba2124dd68cf48bd.pdf>