

都市の俯瞰的理解を高める都市情報ダッシュボードの設計と実装

伊藤 友隆^{1,a)} 米澤 拓郎^{1,b)} 中澤 仁^{2,c)} 徳田 英幸^{3,2,d)}

概要: 都市における人口の一極集中や少子高齢化, インフラの老朽化などの問題に対処するため ICT を活用したスマートシティを実現し, 都市の効率的な運営が求められている. 多様な Web ページ, SNS, 公共期間のデータベース, 企業のデータベースなど様々なデータソースに遍在する都市の情報はそれぞれ少しずつオープンデータとなりはじめている. オープンデータはバッチ的に一定期間内のデータをとりまとめたものを, まとめて公開するものと, リアルタイムな情報を即時にストリーム配信可能なプロトコルで配信するものがある. 現在はバッチ公開的なオープンデータが主流であるが, アプリケーションのニーズに応えるためオープンデータストリームは今後増加すると考えられる. 本研究では SOX プロトコル [1] によるオープンデータストリームを用いて簡単に一瞥で情報を俯瞰可能な都市ダッシュボードシステムを提案する. 都市ダッシュボードでは専門知識を必要とせずとも, 各種のオープンデータストリームを組み合わせることで表示することができ, またリアルタイムに表示される情報が更新される. 都市ダッシュボードシステムにより, SOX プロトコル上に流通する実空間情報・サイバー空間情報を誰でもキュレーションしダッシュボードとして可視化することが可能となり, また, そのダッシュボードをインターネットを通じて誰でも見られるように公開することが可能となる. 都市内で起こる様々なイベント・情報を特定のテーマでまとめたダッシュボードを住民・自治体職員が活用することでスマートシティの実現に貢献が期待できる. 複数人の大学生に協力してもらい, 実際に特別な知識なしに特定のテーマに基づいて情報を集約したダッシュボードを Web ページ上の操作のみで構築することが可能であることを確認した.

City Dashboard: Understanding city at a glance

TOMOTAKA ITO^{1,a)} TAKURO YONEZAWA^{1,b)} JIN NAKAZAWA^{2,c)} HIDEYUKI TOKUDA^{3,2,d)}

1. はじめに

近年, 日本のみならず世界中で都市への人口の一極集中が問題になっており, また先進国の多くで高齢化が将来的な問題として危惧されている. 人口密度が高まり続けるにも関わらず, 働き手となる世代の人口は減少する, という事態が起こっている. このような問題に直面している各都市は公共サービスの質と提供範囲を維持するために, 都市の

運営の効率化に大きな問題意識を持っている. 情報処理の分野ではスマートシティと呼ばれる ICT を最大限活用し, 効率的な情報共有や問題発見, 業務効率化・リソース効率化を都市の運営において実現するというビジョンがある. [2]

現状都市におけるデータは様々な場所・データソースに遍在している. 一般的に都市の情報といえば地方自治体が独自に調査した様々な統計や調査によるデータである. 昨今は自治体の Web サイトなどで公開されるといった流れが一般的になり様々なデータが公開されている. 都市の情報を含んだ Web ページも地方自治体が運営する公共データが情報源のものだけでなく, 民間の有志が運営する地域情報のページだったり, 営利企業が提供する販売店の特売

¹ 慶應義塾大学 政策・メディア研究科

² 慶應義塾大学 環境情報学部

³ 情報通信研究機構

a) tomotaka@ht.sfc.keio.ac.jp

b) takuro@ht.sfc.keio.ac.jp

c) jin@ht.sfc.keio.ac.jp

d) hxt@ht.sfc.keio.ac.jp

情報や混雑情報の他、個人が趣味で作るような観光情報をまとめたサイトまで多岐に渡る。TwitterなどのSNSでの発言も、「江ノ島で美味しいしらす丼を食べた」「藤沢駅にいくけど小田急線が動いていない」「花火のイベントですごい人だかり」などといった都市における様々な情報のデータソースとなりうる発言が多々ある。このようにインターネットやスマートフォンの普及により、潜在的にはスマートシティを実現するための情報源となるデータはインターネット空間上にばらばらの状態で存在自体はしているといった状況になりつつある。

また、データを公開し、再利用を促進するためのオープンデータ化の流れも強くなっており、様々なデータが機械処理しやすい形で配布されたり、再利用の際の利用規約が整備されてきている。こういった様々なオープンデータをスマートシティアプリケーションで最大限利用するためには、バッチ的なデータ提供ではなくストリーム形式によるデータ提供が重要ということでMQTT[3]などのIoT向けプロトコルなどが大きな注目を集めている。このようなオープンデータをストリーム化させた「オープンデータストリーム」がスマートシティアプリケーションでは重要となってくる。

都市の運営効率を上げるためにはまず都市の状況をすばやく俯瞰的に理解する手段が必要となる。しかしながら様々な情報源がインターネット上にばらばらに存在している現在ではそういった手段が存在しない状況となっている。例えば大きな河川が流れている自治体では大雨時に職員が国土交通省の河川情報の監視ページを何枚ものブラウザタブを開き、順番に見ながら住民が河川についてつぶやきを投稿していそうなキーワードでTwitterを検索するといった業務が発生している。自治体の業務は他にも多岐にわたり、都市の状況をすばやく俯瞰的に理解する手段があればすばやく都市の現状把握を行い、意思決定を行うことができ、結果として都市の運営効率を大幅に上げることができるものと考えられる。

本論文では、都市の俯瞰的理解を高めるための都市ダッシュボードを提案する。都市ダッシュボードはこれまでばらばらに存在していた情報を集約し、可視化するものである。情報を集約するために、様々なデータに透過的にアクセスするための仕組みとして慶應義塾大学 SFCity プロジェクト [4] では SOX プロトコルや Web ページの情報をオープンデータストリームに変換し、SOX 上に提供する Sensorizer[5] などを研究開発してきた。これらの技術を用いて集約された様々な情報を集約し、可視化を実現するダッシュボードシステムを設計・実装した。

本論文では都市ダッシュボードシステムの設計と実装について述べ、また都市ダッシュボードを用いて様々な情報を集約・可視化するタスクが特別な知識なしで行えるかどうかを確かめた実験についての内容と考察について述べ

る。最後に都市ダッシュボードの今後の課題と本論文の結論について述べる。

2. 都市ダッシュボード

2.1 目的

企業・役所などの Web ページ上の情報や、公開されているオープンデータには例えば「コインパーキングの混雑状況」「電車の遅延情報」「大雨時の河川の水位」といった情報が挙げられる。

これらの情報を統合してオープンデータストリームにすることで、これらの最新情報を取得できるようになる。こういった情報はひとつひとつは「点」の情報だが、地域に関連する様々な情報を集めて一度に可視化することで「面」の情報となり、地域の様々な情報を横断して俯瞰的に一瞥で把握することができるようになる。

都市ダッシュボードの研究目的はこのような面的な情報をダッシュボードとし、都市の俯瞰的理解を高める情報が集約されたダッシュボードを誰でも簡単に作成・利用できるようにすることである。

「大雨時の状況把握に役立つ情報のダッシュボード」や「災害時の状況把握に役立つ情報のダッシュボード」など都市の行政担当者が自分が必要な情報を集め、ダッシュボードにすることができ、またそれらのダッシュボードを他の職員が活用することで都市の俯瞰的理解を多いに助けるものとなる。

2.2 要件

都市ダッシュボードの機能要件として、以下の項目が挙げられる。

リアルタイムなデータの表示

刻々と変化する都市の状況をはじめとした実空間の情報を、オープンデータストリームの持つ即時性を活かして可視化に即座に反映させる必要がある。

誰でも・どこからでも閲覧可能

作成したオープンデータストリームの可視化はその価値を最大限高めるため、誰もがアクセスし、利用しやすい仕組みの上で構築されることが求められる。

誰でも自由に編集可能

オープンデータはその性質上誰もが利用できるデータであるため、組み合わせ可視化を行うことについても誰もがすることが求められる。

2.3 対象とするデータ

SOX プロトコルはカーネギーメロン大学で開発された XMPP の拡張仕様である、XEP-0060: Publish-Subscribe[6] の上におけるデータ交換の拡張仕様である。[7] したがって、XMPP プロトコルの拡張仕様のひとつでもある。SOX 上でのデータ通信は「送信者 (Publisher)」側

と「受信者 (Subscriber)」側の2つのロールが「ノード」を介して行う。ノードはトピックを表しており、様々なノードが存在する。現在慶應義塾大学のSOX サーバには9000以上のノードが存在している。これらの多数のトピックノードの中から、受信者は自分がデータを受信したいノードをSubscribeする。Publisherがノードにデータを送信すると、そのノードをSubscribeしている全てのSubscriberにXMPPサーバ側からPushでデータが配送される。

SOX ノードはデータ通信専用の「データノード」と「どのようなデータがやりとりされるか」が独自のメタデータ記述言語で記述され、提供される「メタノード」の2つがある。データを利用し、処理するアプリケーションは「メタノード」をSubscribeし、サーバからメタデータのキャッシュを受信することでデータの形式を知ることができる。(図1)

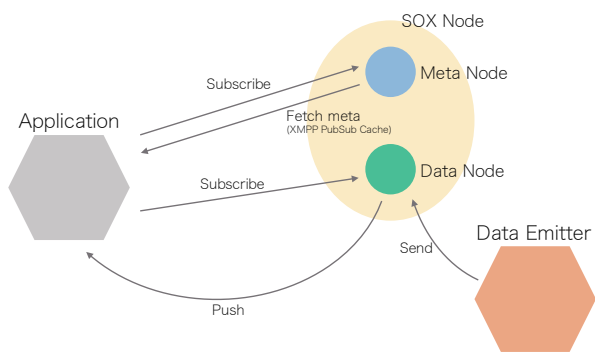


図1 SOX プロトコルにおけるデータ交換

SOX データフォーマットではこのようなメタデータの仕組みを用いて柔軟にデータを記述し、やりとりすることができる。この特性を用いて様々なデータをSOXプロトコル上で交換することができ、様々なデータをSOXに集約することが実現可能となっている。

また、SOXによるデータ交換のためのミドルウェアであるSOXFire[8]はオープンソースで公開されており、慶應義塾大学、東京電機大学、情報通信研究機構などの国内のいくつかの組織で実運用され、データの公開や交換に利用されている。

2.4 関連研究

University Colledge London で開発・運用が行われている、「City Dashboard」プロジェクト[9]ではリアルタイムな都市の情報をWebAPIなどのマッシュアップで1ページのWebページとして表示している。(図2)

City Dashboardプロジェクトのうち、ロンドン市の情報を集約しているLondon Dashboardでは鉄道の運行状況や天気、ロンドンマーケットの株価、大気汚染、市内の電力利用量などが可視化されている。「地域のための最新情報アプリ」などをわざわざ作らなくても、オープンデータスト

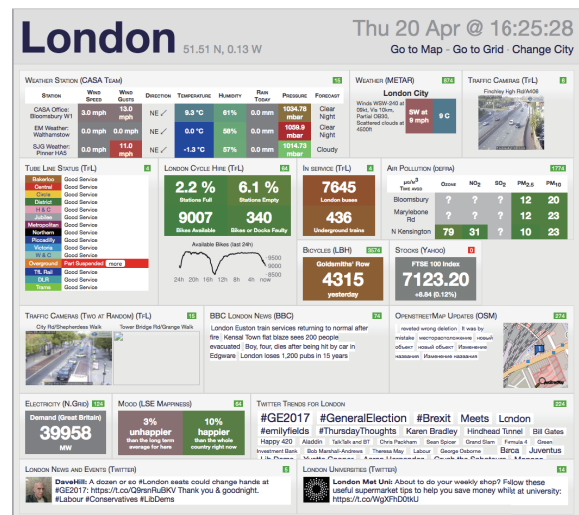


図2 London Dashboard(City Dashboard プロジェクト)

リームに十分な情報があれば、このようにそれらをまとめて可視化することで、それだけで有能なアプリケーションとなる。これらの可視化されている情報は14種類の別々のデータソースから取得していると公開されており、それぞれのデータソースごとに専用のデータ取得のためのプログラムが実装されているものと考えられる。本論文が提案する都市ダッシュボードではユニバーサルなデータアクセスを実現するオープンデータストリームであるSOXの利用を想定しており、「このデータはCSVからデータを読み込み、このデータはWebAPIからデータを取得する」といったようなデータソースごとのデータアクセス実装を行う必要がない。

MITのSenseable City Lab[10]で行われているLIVE Singapore!プロジェクト[11]ではあらかじめデータ共有の許諾を得た複数の事業者・組織から得たデータを様々な手法でリアルタイムに可視化するデモを実際に行なっている。LIVE Singaporeプロジェクトのシステムではデータのストリーム配送にはZeroMQを用いたとされており、ZeroMQ内で交換されているデータフォーマットの詳細はとくに記述されていない。論文ではオープンデータの重要性やデータストリームからはじまり、データプロセッシングなどのパイプライン処理、データを処理するアプリケーションなどの一連のアーキテクチャをUrban Real-Time Data Platformとして定義しており、都市の運営やモニタリングにUrban Real-Time Dataが役に立つとしている。

図3ではF1のレースが開催されたときの携帯電話のSMSのやりとりの数をシンガポールの大手携帯電話キャリアであるSingTelから受信し、リアルタイムにヒートマップとして可視化したものである。この他にも電力利用量と気温の関係や、シンガポール港で発着する貨物コンテナの出入りの情報など様々な情報を可視化してデモを行なっている。LIVE Singapore!では特定の事業者や組織から得た



図 3 LIVE Singapore!プロジェクトの F1 レース時の SMS 利用ヒートマップ可視化

情報を加工し、ZeroMQ ベースのメッセージングシステムに流通させているが、本研究で利用している SOX では任意の組織が任意のデータを自由に送信ことができ、またそのデータ形式はメタデータを同時に提供する仕組みとなっているため、特定のデータに対する特別なインテグレーションの必要がない。また、LIVE Singapore!の良さでもあるリッチな可視化は本論文が提案する都市ダッシュボードでは難しいが、逆にこういったリッチな可視化は専用の実装やデータの定義などが必要であり、トピックごとに多様なダッシュボードを様々なユーザが作成するという都市ダッシュボードが目指すところは実現できていない。

3. 設計と実装

3.1 設計

本節では都市ダッシュボードシステムの設計について述べる。

3.1.1 設計

ウィジェット

都市ダッシュボードでは、情報可視化の最小単位を「ウィジェット」として設計した。また、見やすさを考慮し複数の「ウィジェット」からなる「ウィジェットグループ」を設計に組み込んだ。1つのダッシュボードは任意の数の「ウィジェットグループ」から構成される。

この構成によっていくつかのトピックをグループにまとめ、可視化することで表示する際に見やすくなる。たとえばそれぞれ「遊んでいる子供の数」・「気温」・「公園の様子の写真」という三つの情報がオープンデータ化されているとして、3つの公園についての情報を提供するダッシュボードを作りたいときに、「遊んでいる子供の数」・「気温」・「公園の様子の写真」の3つの情報を組み合わせて1つのウィジェットグループとするといった具合である。

データの保存

都市ダッシュボードのデータは以下の4つになる。

ダッシュボード名

ダッシュボード作成者は作成するダッシュボードに

名前をつけることができる。可視化する情報のテーマに沿った名前にする事で他の利用者也内容を理解しやすくなる。

ウィジェット

各ダッシュボードに配置されたオープンデータストリーム可視化のためのウィジェットの情報である。オープンデータストリーム上のサーバ名や識別子などの情報や、可視化のためのウィジェットタイプ、ウィジェットに与えられた名前をまとめてウィジェットのデータとして管理する。

ウィジェットグループ

複数のウィジェットをまとめたグループをウィジェットグループとする。ウィジェットグループのデータはウィジェットグループ名と、メンバーであるウィジェットのリストからなる。

ウィジェットに表示するデータ

都市ダッシュボードの初期バージョンでは、ウィジェットの表示データをデータベースで管理していない設計となっている。これは採用したオープンデータストリーム SOX の特性でもあるが、最新の1件のデータが SOX からキャッシュとして取得できることに由来している。

3.2 実装

本節では都市ダッシュボードの実装の詳細について述べる。

3.2.1 Web アプリケーション

まず、都市ダッシュボードは Web アプリケーションとして実装した。これは機能要件として設定した「誰でもどこからでも閲覧可能」を実現するアプローチである。近年 Web ブラウザ上におけるインタラクティブコンテンツの実装上の自由度の向上はめざましく、ネイティブアプリケーションでなくても十分に多様な可視化が実装可能であるとして Web アプリケーションとしての実装を採用した。

3.2.2 権限モデル

Web アプリケーション上における操作権限のモデルとしては、誰でも自由にダッシュボードを設置でき、編集が行えるというものになっている。ウィジェットの削除も行えるが、ボードの削除自体は管理者のみができるようになっている。このように権限モデルはできるだけ複雑な機構を導入せずに、ダッシュボードの作成操作の心理的ハードルを下げる目的で意図的に自由度を高めた権限モデルとした。

3.2.3 オープンデータストリーム

可視化するデータの情報源であるオープンデータストリームは前述の SOX システムを選択した。XEP-0206: XMPP over BOSH[12] 機構により Web アプリケーション上で JavaScript を用いて XMPP 通信が行えることも SOX を採用した理由のひとつである。XEP-0206 ごとに XMPP

プロトコル上でトピックノードに対して Subscribe を行うことで、トピックノードに対してデータソースを Publish を行なった際にリアルタイムにデータを受信することができるようになる。

3.2.4 使用データベース

都市ダッシュボードのデータ保存には MongoDB[13] を採用した。MongoDB はスキーマレスなドキュメント志向データベースであり、さまざまなウィジェットの定義をデータとして格納する都市ダッシュボードの特性上、柔軟なデータ構造をそのまま保存できる点を評価し、実装に利用した。

3.2.5 開発言語・フレームワーク

都市ダッシュボードシステムのサーバーサイドのシステムは開発言語として Python 言語バージョン 2.7[14] を用いた。サーバーサイド開発のフレームワークとして Bottle フレームワーク [15] を用いた。フロントエンドのシステムは開発言語として JavaScript を用いた。データに基づいた HTML を柔軟にレンダリングするためのフロントエンドフレームワークとして Facebook 社が公開しているライブラリ React[16] を採用した。また、XEP-0206 ごとに XMPP と通信を行うためのライブラリとして Strophe.js[17] を採用した。また、Strophe.js 上の XMPP 通信で SOX プロトコルを扱うためのライブラリとして慶應義塾大学の SFCity プロジェクトが公開している SoxJS ライブラリ [18] を用いた。

3.2.6 ウィジェットの種類

可視化に用いることができるウィジェットは以下の 3 種類を実装した。

テキストタイプウィジェット

テキストタイプウィジェットは、SOX から受信したデータをそのまま表示するだけのウィジェットである。図 (4) はテキストタイプウィジェットにテキストが表示されている様子である。

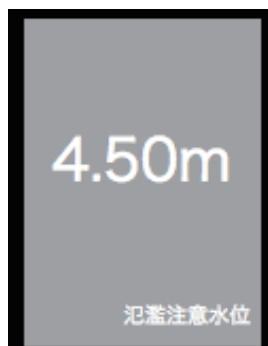


図 4 テキストタイプウィジェットの例

画像タイプウィジェット

画像タイプウィジェットは、SOX から受信したデータを data-uri[19] 形式であると認識できた場合、画像と

してウィジェット内に表示するウィジェットである。図 (5) は画像タイプウィジェットに画像が表示されている様子である。



図 5 画像タイプウィジェットの例

data-uri は mime-type とバイナリデータを Base64 形式でエンコードしたデータから構成されるフォーマットであるため、GIF 形式、JPEG 形式、PNG 形式などの任意の画像形式を表現できる。画像タイプウィジェットはブラウザサポートしている画像フォーマットであれば全て表示が可能である。

マップタイプウィジェット

マップタイプウィジェットは、SOX から受信したデータを緯度経度の位置情報として解釈し、Google Maps API[20] を用いた地図上にプロットするウィジェットである。図 (6) はマップタイプウィジェットに位置情報が可視化されている様子である。



図 6 マップタイプウィジェットの例

マップタイプウィジェットは SOX に逐次送信される最新の位置情報を可視化することが目的のため、SOX から位置情報のアップデートを受信した際は、その位置情報がマップの中心にくるようにピンの位置やマップの中心座標を自動的にアップデートする実装となっている。



図 7 複数のウィジェットサイズの例

3.2.7 ウィジェットのサイズ

ウィジェットのサイズは小・中・大の3種類と設定した。図7に示すウィジェットグループでは、上段にサイズ中のウィジェットが、中段にサイズ小のウィジェット2つが、下段にサイズ大のウィジェットが配置されている。

前述の3種類のウィジェットタイプ全てにおいて、小・中・大の全てのウィジェットサイズが利用できるようなっている。可視化したいトピックにおいて情報の重要性に応じてウィジェットサイズを使い分けることで効果的な可視化を行うことができる。

4. 実験

4.1 目的

都市ダッシュボードシステムを用いて、実際に特別な技術的知識なしにSOXに流通するデータの可視化のためのダッシュボードを構築することが可能かどうか確認する目的で、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの学生に実際に藤沢市やその他の都市の興味のあるトピックに関するダッシュボードを自由に作るよう協力をお願いした。

4.2 実験結果

90分の授業時間中に約40個のダッシュボードが作成された。藤沢市、札幌市、京都市、熊本市、横浜市、大阪市、マドリッド、ハノイなどの様々な都市の情報を俯瞰的に理

解するのに役立つダッシュボードが作成された。

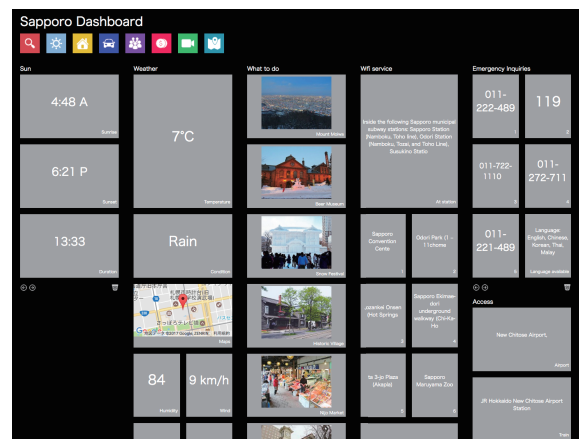


図 8 学生による札幌市の観光情報に関するダッシュボード

図8は学生によって作成された札幌市の観光情報に関する情報を集めたダッシュボードである。リアルタイムな天気の情報や、観光スポットのWebカメラの写真、非常時の連絡先・Wi-Fiサービスのある場所などの情報をまとめたダッシュボードとなっている。

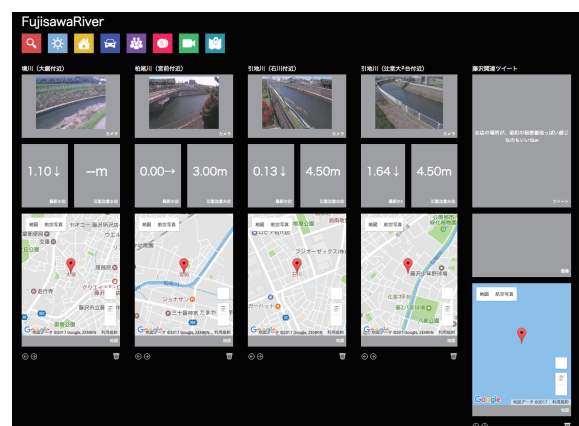


図 9 学生による藤沢市の河川水位に関するダッシュボード

図9は学生によって作成された藤沢市の河川水位に関する情報をまとめたダッシュボードである。リアルタイムな河川水位や、河川監視カメラの情報、観測所の位置の地図による表示が組み合わせられており、わかりやすい。また藤沢市に関するツイートも組み合わせられており、大雨時のSNSの様子なども合わせて何うことができるようになっている。

このようにWebページの情報やTwitterなどのSNSの発言情報などを合わせてSOX上に流通させることで地域で生活する人々にとって有益な情報を一覧できるダッシュボードが特別な知識なしで構築することが可能であることが確認できた。

これらのダッシュボードの作成テストに協力してもらった学生達からは「トピックリスト取得時にうまくいかないことがある」などの動作の安定性に関するフィードバッ

クがあった。SOX システム上では現在 9000 種類以上のトピックが作成されており、トピック選択の UI に関して今後改善のアイデアを考えたい。

5. 今後の課題と結論

本節では都市ダッシュボードシステムを改良し、より良いものとするための課題と本論文の結論を述べる。

5.1 課題

5.1.1 さらなる可視化方法の拡充

都市ダッシュボードの現在のバージョンでは実装できていない「グラフ」「表」「複数地点の位置情報」タイプのウィジェットの実装を行いたい。グラフでは変化を表示できる折れ線グラフ、割合を表示できる積み上げ棒グラフ・円グラフなどの実装を予定している。表タイプウィジェットがあれば複数の値を表としてまとめて表示することで情報をより見やすく整理できるようになる。複数地点の位置情報タイプウィジェットでは、現状マップウィジェットには 1 地点の緯度経度しか設定できないが、これを複数地点の位置情報をピンとして表示したいと考えている。

5.1.2 ダッシュボード編集機能の充実

現状の都市ダッシュボードの編集機能は充実しているとは言えず、ウィジェットの複製や作成されたダッシュボードの複製などができない状況である。このような編集機能を充実させることでより簡単に目的に応じたダッシュボードを手軽に作成することができるようになり、さらなる有効利用につながるものと考えている。

5.1.3 検索機能の実装

さまざまなテーマの都市ダッシュボードが作成され、多くの都市ダッシュボードがリストされるようになった場合、名前だけでは必要な情報を可視化しているダッシュボードを見つけることが難しい場合が想定される。このためダッシュボードの名前や可視化に使っている SOX トピックノードの名前、可視化の種類などで検索を行える実装を行いたい。

5.1.4 フェデレーション SOX 通信の対応

都市ダッシュボードが可視化を行うデータソースである SOX では複数拠点のドメインを連携させ、データを相互に流通させるフェデレーション機能が XMPP プロトコルを介して実現されている。都市ダッシュボードの現在のバージョンではフェデレーションされたサーバの情報を合わせて可視化できるように作られていないため、今後フェデレーション通信対応の実装を行なっていきたいと考えている。

5.1.5 利便性とセキュリティをバランスさせた権限モデルの設計

現状の都市ダッシュボードでは他人が作成したダッシュボードのウィジェットを削除したり、編集によって書き換

えてしまうことが可能となっている。実際に人口の多い自治体などで公共のサービスとしてスタートさせるのであれば、このように誰もが削除したり内容を書き換えたりできない方が好ましい場合も想定される。このようなユースケースに答えるような利便性とセキュリティをバランスさせた権限モデルの設計と実装を行いたい。

5.1.6 地域における実証実験

大学に閉じた実験でなく、地域住民の方や自治体職員の方に実際に使ってもらって実証実験を行いたいと考えている。それにより実際に求められている情報や、可視化手法などの基本的なことから、細かいユーザインタフェース改善のためのフィードバックを獲得したい。

5.2 結論

オープンデータストリームに流通する情報を誰でも可視化により有効に利用できる都市ダッシュボードを開発した。都市ダッシュボードに様々な都市の情報を可視化させることで都市のリアルタイムな情報を俯瞰的に理解する助けとなる。実際に複数の学生に興味のある情報のダッシュボードを作成してもらい、特別な技術的知識がなくても Web ブラウザ上の操作だけでダッシュボードを作成できることを確認した。可視化手法、編集機能、検索機能、通信機能、セキュリティなどの都市ダッシュボードの今後の課題について整理を行なった。

謝辞 本研究の一部は国立研究開発法人情報通信研究機構に支援頂いた。本研究の一部は国立研究開発法人理化学研究所に支援頂いた。

参考文献

- [1] Sensor-over-XMPP
<https://xmpp.org/extensions/inbox/sensors.html>
- [2] 経済発展と環境対策の両立に向けて～スマートシティという視点～
http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/iten/service/newsletter/i_02\71\1.html
- [3] MQTT
<http://mqtt.org/>
- [4] SFCity Project
<http://www.sfcity.jp/>
- [5] Nakazawa, Jin, Hideyuki Tokuda, and Takuro Yonezawa. "Sensorizer: An architecture for regenerating cyber physical data streams from the web." Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers. ACM, 2015.
- [6] XEP-0060: Publish-Subscribe
<https://xmpp.org/extensions/xep-0060.html>
- [7] Rowe, Anthony, et al. "Sensor Andrew: Large-scale campus-wide sensing and actuation." IBM Journal of Research and Development 55.1.2 (2011): 6-1.
- [8] Yonezawa, Takuro, et al. "SOXFire: A Universal Sensor Network System for Sharing Social Big Sensor Data in Smart Cities." Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart Cities. ACM, 2016.

- [9] City Dashboard
<http://citydashboard.org/about.php>
- [10] Senseable City Lab
<http://senseable.mit.edu/>
- [11] Kloeckl, Kristian, Oliver Senn, and Carlo Ratti. "Enabling the real-time city: LIVE Singapore!" Journal of Urban Technology 19.2 (2012): 89-112.
- [12] XEP-0206: XMPP Over BOSH
<https://xmpp.org/extensions/xep-0206.html>
- [13] MongoDB
<https://www.mongodb.com/>
- [14] Python
<https://www.python.org/>
- [15] Bottle: Python Web Framework
<http://bottlepy.org/docs/dev/>
- [16] React - A JavaScript Library For Building User Interfaces
<https://facebook.github.io/react/>
- [17] Strophe.js - An XMPP library for JavaScript
<http://strophe.im/strophejs/>
- [18] SoxJS
<https://github.com/htlab/SoxJS>
- [19] RFC2397: The "data" URL scheme
<https://www.ietf.org/rfc/rfc2397.txt>
- [20] Google Maps API
<https://developers.google.com/maps/?hl=ja>