

都市間比較の国際規格と都市センシング

EHS&S 研究センター長 大島 一夫

Keyword : 都市, ISO37120, 人工衛星, スマートフォン, GPS, レーダ

1. はじめに

世界中で都市に人口が集中している。人口が集中する都市では、雇用対策など経済の活性化が求められると共に、都市が抱える諸問題を解決する必要がある。これらに対処するために、世界の大学、政府機関、企業などが各種のセンシング技術・サービスを開発・展開している。センシングがうまくできなければ状態がわからず、様々な問題を解決できない、すなわち経営できないということになる。

ここでは、都市への人口の集中の状況、世界の都市の比較を行うために定められた国際規格の概要、世界で行われている都市のセンシング事例をこの国際規格の分類に従って紹介する。

2. 都市への人口の集中

2018年現在、世界人口の55%が都市部に暮らしている。1950年には30%に過ぎなかった都市部人口は、2050年には68%に達すると予測されている¹⁾。

国内でも、三大都市圏の人口が総人口に占める割合(人口そのものではない)をみると、一貫して増加傾向にある。特に、その多くが東京圏のシェア上昇分である(図1)。国内では、三大都市圏への人口集中と、他の地域の過疎化の進展が並行して進むことが想定されている²⁾。

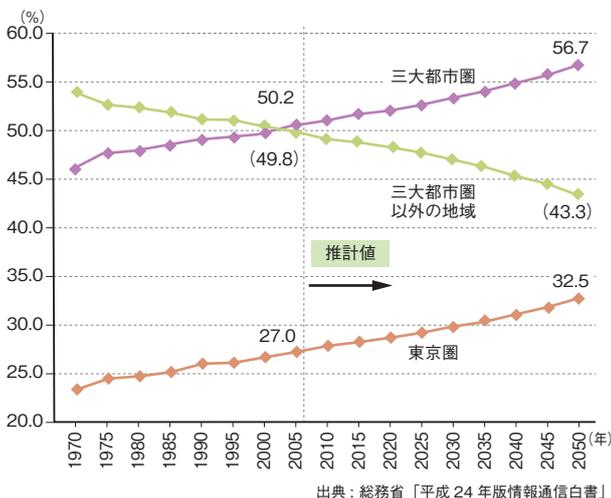


図1 都市への人口の集中(日本)

3. 都市間比較の国際規格

ISO37120は、カナダの提案により世界の都市を統一された指標で比較するために定められた国際規格で、2014年に認定され、2018年に改訂されている。世界の都市がこの標準化された指標を通じてデータをオープンにすることによって、お互いに良い点を学び合い、持続可能性とQOLをさらに高めることを目的としている。表1にISO37120の17の「活動項目」と、その「指標」を示す。

なお、文献3)で紹介したISO TS 37151は、日本が提案したスマートな都市インフラの評価指標である。

4. 都市のセンシング事例

世界各国で行われている都市のセンシング事例を、ISO37120の活動項目に従って分類して紹介する。なお、活動項目すべてを網羅しているわけではない。

4.1 経済

1) 商業

米国のショッピングセンター駐車場の人工衛星によるリモートセンシング事例がある。ショッピングセンターに併設された30万カ所の駐車場を分析し、車の台数を毎日集計することにより、米国の小売業界の売上高分析を提供している。米国の小売店舗はネットショッピングの影響を受けて経営環境が悪化しているが、衛星リモートセンシングにより、四半期ごとの財務報告より早く経営状況を把握することができる。また、財務報告より正確ともいわれている⁴⁾。

2) 観光

政府は、訪日外国人を2030年には6千万人にする計画を立てており、2018年の訪日外国人は3千万人を越えている。

訪日外国人の訪問都市調査は、紙調査票やタブレット端末に記入してもらって行っている⁵⁾。紙をタブレット端末に置き換えることによって集計の効率化を図ることができるが、調査の方法は紙の延長上である。

一方、訪日外国人の持つスマートフォンなどの携帯端

表1 世界の都市の比較指標 ISO37120

No.	活動項目	指標
1	経済	失業率 商業・工業用資産評価額比率 貧困率 その他補助指標：4
2	教育	女性就学率 初等教育修了者比率 中等教育修了者比率 初等教育における生徒/教員比率 その他補助指標：3
3	エネルギー	家庭向け電力の年間消費量 電力サービス加入者比率 公共施設でのエネルギー年間消費量 再生可能エネルギー消費量比率 その他補助指標：3
4	環境	大気中のPM2.5濃度 大気中のPM10濃度 温室効果ガス排出量 その他補助指標：5
5	金融	債務返済比率 その他補助指標：3
6	火災と緊急事態への対応	消防士数 火災関連死者数 自然災害関連死者数 その他補助指標：3
7	ガバナンス	選挙投票率 女性議員比率 その他補助指標：4
8	健康	平均寿命 病床数 医師数 5歳未満での死亡率 その他補助指標：3
9	レクリエーション	補助指標：2
10	安全	警察官数 殺人事件数 その他補助指標：3
11	避難所	スラム居住者比率 その他補助指標：2
12	廃棄物	廃棄物定期収集人口比率（家庭） 自治体による年間廃棄物収集量 廃棄物リサイクル比率 その他補助指標：7
13	通信	インターネット加入者数 携帯電話加入者数 その他補助指標：1
14	交通	軽量公共交通システムの距離 公共交通の年間利用回数 自家用車台数 その他補助指標：4
15	都市計画	緑地面積 その他補助指標：3
16	下水	下水処理の利用可能な人口比率 未下水処理水比率 一次処理（物理処理）水比率 二次処理（有機物処理）水比率 三次処理（高度処理）水比率
17	水と公衆衛生	上水道を利用可能な人口比率 処理済み水源を利用可能な人口比率 トイレを利用可能な人口比率 生活用水使用量 その他補助指標：3

表2 大気の常時監視対象物質

微小粒子状物質（PM2.5）	浮遊粒子状物質（SPM）
光化学オキシダント（Ox）	二酸化硫黄（SO ₂ ）
二酸化窒素（NO ₂ ）	一酸化炭素（CO）

末の位置情報を利用して、都道府県単位・市区町村単位・1 kmメッシュの詳細な調査が行えるようになっている。携帯端末を利用した調査は、これまでと大きく異なる手法を使っていることになる。調査料金は空間解像度が高くなるほど高く設定されている⁶⁾。

4.2 エネルギー

石油タンクの人工衛星によるリモートセンシング例がある。世界中の25,000以上の原油タンクの60億バレル以上の貯蔵量を撮影して、世界および地域の原油量を毎日推定している。推定にあたっては、原油タンクの「浮き屋根」に着目している。原油タンクの屋根は固定式ではなく原油の上に浮いているため、原油タンクを上から撮影すると原油タンクの壁面の影の大きさから浮き屋根の高さがわかり、原油タンクの残量を計算できる。原油貯蔵量の公式の報告書は、遅れたり、戦略的な数値が発表される場合があるが、衛星リモートセンシングにより実態に近い数値が把握できるといわれている⁴⁾。

4.3 環境

1) 空気

大気（屋外空気）について、汚染物質の常時監視が日本全国1,800カ所以上で行われている³⁾。監視している物質は、環境基準が設定されているPM2.5など、表2に示す物質である。PM2.5の人工的な発生源には、工場・自動車などの排ガスや、塗料・接着剤などからの揮発性のガスがある。

PM2.5の環境基準は、1年平均値（長期基準）が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、1日平均値（短期基準）が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることが定められている。また長期基準と短期基準の両方を達成した場合に、環境基準を達成したとしている。PM2.5を連続的に測定するため、放射線を使った自動測定装置も開発され使われている。2016年度のPM2.5の年平均値の濃度をみると、首都圏、瀬戸内海周辺地域、北部九州地域などで、15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地域が多くみられる⁷⁾。

PM2.5については、屋内の基準がない。そこで地下鉄の構内でPM2.5の測定を行った例がある。PM2.5の濃度は始発電車が走り始めてから上昇し、朝夕の通勤ラッシュの時間帯に大きく上昇することが明らかになった。しかし地下鉄の利用者が構内に留まる時間は短いので、問題はないとされている⁸⁾。

デンマークのコペンハーゲン市とグーグルが、Googleストリートビュー車を利用して大気環境測定を行っている。このプロジェクトはAirビュープロジェクトと呼ばれ、2018年から2019年末まで測定を行い、同市の大気汚染の地図を作成することになっている。この地図は、喘息患者、サイクリスト、ランナーなどが汚染の

少ないルートを選ぶのに使われると共に、大気汚染対策立案に使用される⁹⁾。

2) 騒音

自動車騒音は、環境省が指定した道路を対象に5年かけて順次測定が行われ、データが公開されている。騒音に関する環境基準では、例えば住居地域では昼間55dB以下、幹線交通を担う道路に近接する空間では特例として昼間70dB以下などと、地区ごとに基準値が定められている¹⁰⁾。

ドイツの企業がスマートフォンを使った『Mimi 聴力テスト』というアプリをアップルストアなどで提供している。これを使えば、自分の聴力を確認することができる。聴力テストの結果を統計値と比較したり、専門医に見せることもできる。同社が20万人以上の聴力検査参加者から集めたデータと、世界保健機関（WHO）の統計などを使用して、都市における騒音と聴力との関連を調査した。この結果、都市の騒音と難聴は64%の正の相関があることが明らかになったとしている。これは、聴力損失が都市での生活の結果である可能性を示唆していると考えられている¹¹⁾。

3) 生物多様性

City Nature Challengeは、世界の大都市でスマートフォンを用いて、一斉にその都市の動植物の写真を撮影し、マップに記載する世界規模の市民科学プロジェクトを行っており、日本でも行われている。スマートフォンによって画像データと位置情報を取得して投稿すると、動植物の研究者やナチュラリストがその種類を同定する。ボストンの例では14,000あまりの投稿があり、種数は約1,900、投稿者は900人あまりであった。このセンシングの目的は、動植物の生息状況を知って人の住む環境がどのように変化してきているかを把握しようというものである¹²⁾。

このような方法は、市民による公共施設の不具合箇所の投稿や、空模様の投稿による天気予測などにも使われている。

4.4 緊急事態対応

1) 地盤変化

社会インフラの危険箇所の検出に、衛星リモートセンシングが行われている。衛星写真分析により地盤変動を検出し、これに道路位置情報などを重ねて表示することで、リスクのある場所がわかり、点検や現地調査を効率的に行うことができる¹³⁾。

2) 雨量

日本全国に65基ある2種類のレーダ雨量計のデータを合成して、これまで1kmメッシュ、配信間隔5分であった雨量データを、250mメッシュ、1分間隔で収集・提供できるようにした。アメダス（AMeDAS）は17km

ごとに設置され、その雨量データは1時間ごとに収集されているので、空間解像度・時間解像度が非常に高くなったことになる¹⁴⁾。

都市での内水氾濫対策として、地下施設での止水や避難、下水道の区画単位での道路冠水予測、土砂崩落予測、降雨を考慮したルート案内などのニーズがあるが、このためには特定の地域での雨量データが必要になる。しかし、現在の雨量レーダデータの提供方法は、広域がまとめられた形式や降雨量が地図化された画像形式になっている。そこで1分ごとに観測を行う雨量レーダネットワークからリアルタイム配信される大規模ストリーミング雨量データを、これまでの技術に比較して数十倍の速度で蓄積、ニーズに応じて切り出す技術の開発が進められている¹⁵⁾。

3) 台風・豪雨被害把握

台風や豪雨による被害推定を、衛星リモートセンシングにより行う研究が行われている。

2018年台風21号は、関西空港連絡橋へタンカーが衝突するなど近代大都市が初めて経験する台風災害といわれた。この台風前後に撮影された衛星写真を比較して、屋根にブルーシートがかかっている住宅を屋根被害ありと判定する手法の研究が行われている¹⁶⁾。

損害保険会社が、人工衛星で撮影した水害発生後の画像などから現地に行かなくても被害状況を把握して保険金支払いの準備を進めることも行われている。

2018年7月に西日本を襲った豪雨災害による広島県熊野町の土石流の被害推定が、人工衛星Sentinel-2に搭載した近赤外線カメラによる衛星リモートセンシングにより行われた。植生がある部分は近赤外線を反射するが、土石流発生箇所では植生が流出して、近赤外線を反射しない。これを利用して、土壌が地表に露出して人が入るには危険な場所での被害の把握が可能となる¹⁷⁾。

4.5 健康

2018年末から2019年初めのインフルエンザの国内流行レベルを、国立感染症研究所の警報・注意報とGoogle

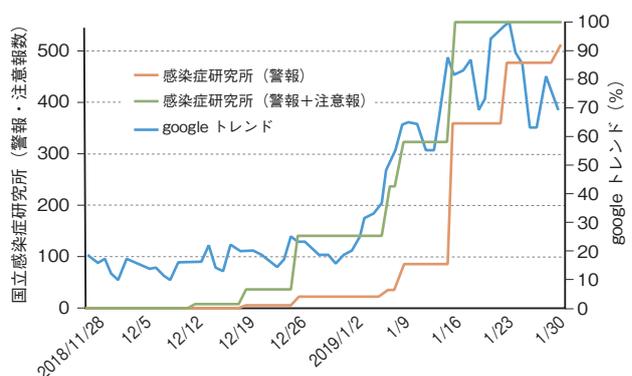


図2 インフルエンザの国内流行レベル
国立感染症研究所の警報とGoogleトレンドの比較

トレンドで比較した(図2)。国立感染症研究所は、全国約5千のインフルエンザ定点医療機関を受診したインフルエンザ患者数を1週間ごとに集め、3日かけて集計して全国約560の保健所単位に警報・注意報を発している。一方、Googleトレンドはインフルエンザというキーワードで検索された回数の割合を表している。Googleトレンドは国立感染症研究所の「警報+注意報数」とほぼ一致しているが、わずかに先行している。ピークもGoogleトレンドの方が早く迎えている。Googleトレンドをみると、全国レベルでは早めにインフルエンザの流行を把握できるように見える。

都市の下水システムを利用して、ほぼリアルタイムに都市に住む人の健康を把握しようという研究もある。ここでは、下水にどのような種類の細菌やウイルスなどが何個含まれているかを計測している。この研究は、都市での新型インフルエンザの早期警報が可能とし、地域社会の医療費を削減し、さらに発生を軽減するのに役立つ可能性がある。また肥満や糖尿病などの疾病のバイオマーカー計測は、非伝染性疾病の研究方法に影響を与える可能性がある¹⁸⁾。国土技術政策総合研究所(国総研)においても、2000年に下水中のインフルエンザウイルスの調査が行われている。

4.6 廃棄物

国内の2000年と2015年の廃棄物の最終処分量を比較すると、5,600万トンから1,400万トンへと大きく減少している。この理由は、3Rの進展、焼却処分の増加、景気の低迷、人口減少などが原因と考えられている¹⁹⁾。

ゴミをさらに減らす行動につなげるため、ゴミ排出量について、空間解像度の高い情報を提供する研究が行われている。この研究では、各ゴミ収集車が収集したゴミの重量の計測、収集車の走行位置の把握、収集車に投入されたゴミ袋の数を数えることが行われた。ゴミの収集位置は、収集車に取り付けられたGPSにより取得し、ゴミ袋の数は、収集車のゴミ投げ入れ口を撮影するカメラにより数える。このようにして計測したデータを基に、収集されたゴミ袋の数とその位置を地図上に示せるようにしている²⁰⁾。

文献3)で紹介したように、ゴミ箱にたまったゴミの量と、ゴミ箱の位置を検出するセンサーを取り付けたゴミ箱もある。これによってゴミ箱が満杯になる時期を推定してゴミ収集するので、ゴミの収集頻度が減り、またゴミがあふれることも減って、ネズミなどの害も減らすことができる。

ゴミの行き先について気かけない人も多いが、それを可視化しようという取り組みもある。ゴミにGPSと携帯電話ネットワークへの発信機のついたタグを貼付して行き先を追跡する。米国のシアトルでこのタグを500

人に配り、3千個の廃棄物にタグを貼付してもらい、ゴミの種類別に行き先を調べた。ゴミは最初はシアトル周辺にとどまるが、時間を経るに従って遠くまで運ばれ、2カ月後にはフロリダまで運ばれるものもある。

4.7 交通

1) 鉄道

地方鉄道で、交通系ICカードを利用した、駅ごと、ユーザあたりの乗車回数の分析が行われた。分析の際に、ジニ係数も使用している。ジニ係数は、所得格差などを調べるために使われ、0~1の値をとる。ジニ係数はその値が大きいほど格差が大きい、すなわち乗車回数の格差が大きいことになる。

ジニ係数が大きく、乗降客の多い駅は、定期券利用客が多く、乗降客や乗り換え客も多いことになる。このような駅の周辺には、大規模商業地域が広がっていると考えられる。同様にジニ係数が大きく、乗降客数が少ない駅は、小規模商業地域があると考えられる。これまでの交通センサスは5年ごとで、しかも3日間の調査であるが、交通系ICカードの分析で、乗降客を増やす目的で行われた街づくりの効果検証や乗車回数を増やすための施策立案に役立つと考えられている²¹⁾。

2) 自動車

料金決済だけの機能のETCが、2016年にバージョンアップしてETC2.0として登場し、2019年にはETC2.0の搭載台数は390万台となっている(このうち普通車以下の車種は310万台である)。ETC2.0では、走行履歴や挙動履歴を蓄積して、アンテナ設置箇所ですべてデータ収集している。この情報を基に渋滞回避や、安全運転支援の情報提供を行う。5年に1回の道路交通センサスが常時観測体制に変わっていくことになる。

ETC2.0で集められたデータを基に、平日・休日別の立ち寄り場所・時刻、滞在時間、周遊ルートの分析が、試行ではあるが行われている。これらのデータを利用すれば、騒音や大気汚染の対策にも利用できると考えられる。

磁気センサーと通信モジュールを備えたポッド(Pod)を道路に埋め込んで、リアルタイムの駐車データを提供しようというシステムもある。通信には通信速度や通信量が小さいLoRaWANやSigfoxなどの省電力長距離通信が採用されている。このパーキングセンサーは、電池で10年間稼働する²²⁾。

4.8 都市計画

都市がどの程度緑化されているのかを、人の見る感覚に近い街路レベルからの映像を指標化する手法がMITで開発されている³⁾。

指標はグリーンビューインデックス(GVI)という、ある地点の樹冠の割合を0~100で表した値を使う。神

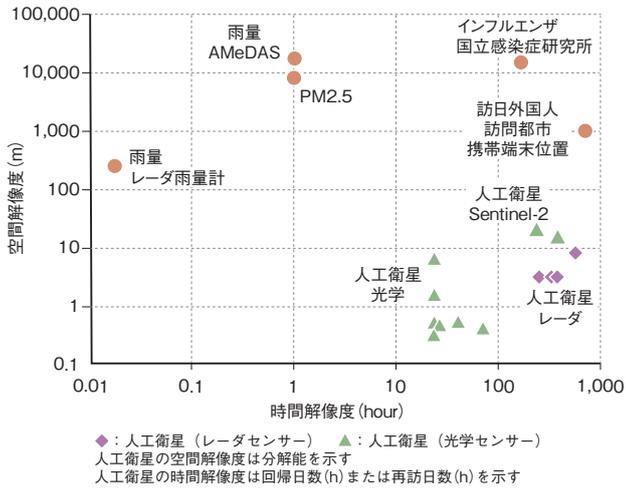


図3 センシングの解像度

戸のグリーンビューインデックスは、スイスのジュネーブ、米国のボストンに比べて半分程度の値で緑が少ないという結果になっている²³⁾。

5. まとめ

図3に、本稿で紹介した都市のセンシング事例のうち、空間解像度と時間解像度の両方がわかる事例を記載した。衛星リモートセンシングについては、約4千基ともいわれる人工衛星が、光学センサーやレーダセンサーなどを搭載し、それぞれが独自の分解能と、回帰日数（同じ場所に戻ってくるまでの日数）や再訪日数（同じ場所を観測できるようになるまでの日数）を持って周回している。これらのうち文献²⁴⁾で紹介されている商用衛星と本稿4.4の3)で紹介した近赤外線カメラを搭載した人工衛星 Sentinel-2 を図3に合わせて記載した。今後、ニーズに応じてコストを勘案しながら新しい技術を導入して、解像度を上げていくことになると考える。

図4に、本稿で紹介した都市のセンシング事例のセンシング方法を示す。人工衛星、スマートフォンと、スマートフォンにも搭載されているがGPSが多く使われており、今後これらの利用が広がっていくと考えられる。

今回は紹介しなかったが、スマートフォンの加速度センサーを利用した橋の振動監視、GPSが使えない地下などでの気圧センサーを利用した位置推定の取り組みもある。

このようにして取得したデータを処理してリアルタイムに提供するサービスの進化、データを有機的に連携させるプラットフォームの構築などにより、都市の抱える諸課題への取り組みの加速が期待される。

【参考文献】

1) United Nations : World Urbanization Prospects The 2018 Revision, <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Methodology.pdf>, 2020.3.9

	経済 商業	観光	エネルギー	環境 空気 騒音	生物多様性	緊急事態対応 地盤変化 雨量 台風・豪雨	健康	廃棄物	交通 鉄道	都市計画 自動車 緑化
衛星	●	●				●	●			
スマートフォン	●			●	●					
GPS				●				●	●	
ICカード									●	
レーダ						●				

図4 センシング方法

2) 総務省：情報通信白書2012年版, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/ncl12130.html>, 2020.3.9

3) 大島一夫：都市とセンシング, NTTファシリティーズ 総研レポート, No.28, pp.57~62, 2017.6

4) Orbital Insight : <https://orbitalinsight.com/products/go-real-estate/>, 2020.3.9

5) 国土交通省観光庁：訪日外国人消費動向調査, <http://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/syouthityousa.html>, 2020.3.9

6) NTTドコモ：モバイル空間統計, <https://mobaku.jp/price/inbound/>, 2020.3.9

7) 環境省：<https://www.env.go.jp/press/106609.html>, 2020.3.9

8) NHK：https://www3.nhk.or.jp/news/web_tokushu/2018_1026.html, 2020.3.10

9) Copenhagen Solutions Lab : <https://cphsolutionslab.dk/news/nu-begynder-kobenhavn-og-google-at-male-luftforurening-pa-gadeniveau>, 2020.3.9

10) 国立研究開発法人国立環境研究所：http://tenbou.nies.go.jp/gis/monitor/?map_mode=monitoring_map&field=8, 2020.3.9

11) Mimi Hearing Technologies : <https://www.mimi.io/en/blog/2017/3/8/worldwide-hearing-index-2017>, 2020.3.9

12) City Nature Challenge 2018 Boston Area : <http://senseable.mit.edu/city-nature-challenge>, 2020.3.9

13) 一般財団法人リモート・センシング技術センター：<https://www.restec.or.jp/business/solution-infrastructure>, 2020.3.9

14) 国土交通省：XRAIN（エクスレイン）, 国土交通省報道発表資料, 平成28年6月29日, http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000905.html, 2020.3.9

15) 近藤亮磨他：大規模ストリーミング雨量レーダデータの柔軟な高速アクセスを実現するWebデータベースシステム, 電子情報通信学会論文誌, D, VOL. J101-D, No.4, pp.669~680, 2018.4

- 16) 丸山敬：平成30年台風21号による強風・高潮災害の実態，日本学術会議主催学術フォーラム/第7回防災学術連携シンポジウム，2019.3
- 17) 三浦弘之（地域安全学会）：空間情報データによる広島県土石流災害の評価，日本学術会議主催学術フォーラム/第7回防災学術連携シンポジウム，2019.3
- 18) MIT Senseable City Lab and Alm Lab：http://underworlds.mit.edu/，2020.3.9
- 19) 環境省：環境白書（平成30年版）
- 20) 中澤仁：地域IoTとオープンデータ分析，http://www.sic.ecl.ntt.co.jp/mt_assets/04_nakazawa.pdf，2020.3.9
- 21) 加藤弘則他：交通系ICカードログによる駅ごとの乗降者数格差の検証，第57回土木計画学研究発表会・講演集，2018.6
- 22) PNI SENSOR CORPORATION：https://www.pnicorp.com/，2020.3.10
- 23) http://senseable.mit.edu/treepedia，2020.3.10
- 24) 宇宙航空研究開発機構他：災害時の人工衛星活用ガイドブック水害版・衛星基礎編，2018年，https://www.mlit.go.jp/common/001227724.pdf，2020.3.23



おおしま かずお
大島 一夫

EHS&S 研究センター長
環境・エネルギー、BCP等のコンサルティングに従事
博士(工学)、建築設備士、SHASE技術フェロー、
認定ファシリティマネージャー、エネルギー管理士
日本建築学会、空気調和・衛生工学会、計測自動
制御学会会員

Synopsis

International Standards in Inter-city Comparison and Urban Sensing

Kazuo OSHIMA

The world's population is concentrated in its cities. As well as revitalizing economies, cities need to find solutions to the wide range of problems they face. To address these issues, entities such as universities, government organizations and companies around the world are developing and rolling out diverse sensing technologies and services. Unless sensing can be applied successfully, it will be impossible to gain an understanding of situations and resolve problems that need to be addressed: In other words, administration will become impossible.

As well as presenting action items and indices of the international standard ISO 37120 for inter-city comparison, this paper investigates the economy (commerce and tourism), energy, the environment (air and noise), biodiversity, responses to emergency situations (gaining an understanding of ground deformation, rainfall and damage caused by typhoons and heavy rain), health (infectious diseases), waste, traffic (railways and automobiles) and city planning (greenification) as examples of urban sensing. This paper individually examines the spatio-temporal resolution of examples of sensing investigated and sensing techniques. Artificial satellites, smartphones and GPS are often used at sensing techniques.

It is hoped that the evolution of services for the processing and real-time provision of data thus acquired and building of platforms to organically link data will expedite initiatives to solve the various problems faced by cities.