

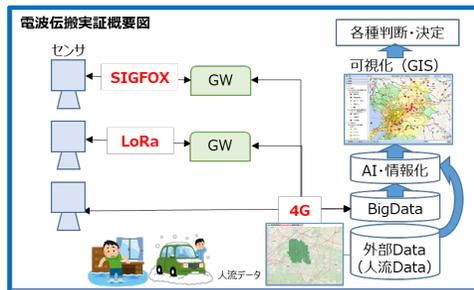
国立研究開発法人防災科学技術研究所

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

実施団体名	国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立大学法人東京大学、株式会社NTTドコモ、株式会社ドコモCS茨城支店
実施地域	北海道標津町、新潟県小千谷市、滋賀県竜王町
事業概要	IoTは屋内外での利活用が進んでいる。こと屋外では、山谷などの地形、草木などの自然、常態化する極端気象の影響は、防災分野のみならず、農林水産業、物流・交通、流通・小売、観光等、地域の持続可能性を左右する。係る状況を鑑み、地形、自然、気象の影響下におけるIoTの安全・安心かつ適正な利用環境の構築に向けて、災害時のみならず、他分野で利活用が求められる。降雨災害対応、降雪災害対応において、LPWAと携帯電話通信により各センサからデータを収集し、分析して可視化することで、当該システムの適正化とともに、その効果のKPIを設定し、EBPM（エビデンスに基づく政策立案）や成果報酬型の事業モデルを検討・構築することで、普及展開に向けたガイドライン等を策定する。

実証内容

- 使用するIoTシステム：水位センシング、積雪センシング等
- 電波の種類：LPWA（SIGFOX、LoRa）、携帯電話通信
- 電波の検証：広い面的なエリアを効率的に把握、管理するため必要
 - ・センサからゲートウェイ（GW）はLPWA（SIGFOX、LoRa）
 - ・センサからクラウド及びGWからクラウドは携帯電話通信
- 収集するデータ種類：気温・気圧（共通）、水位、積雪深等
- データの分析・活用の手法：
 - ・異なる通信方法で収集されたデータはBigDataとして収集される。
 - ・防災科学技術研究所が有する降雨、降雪、吹雪に関して各地で取得、蓄積、分析したDeepDataと共に、データ同化やAI技術を利用し“情報化”して、地理情報システム（GIS）等で可視化することで判断・決定に寄与。
 - ・民間が整備する人流データを利活用することで、被害想定試算や事前検討にも活用し、IoTサービスの高度化を図る。
- 事業継続化の検討：受益者負担によるEBPMや成果報酬型モデルを構築する。



実証成果

電波伝搬に係る知見等

○IoT利用環境における電波伝搬状況等にかかる課題：

- ・山谷等の地形条件、草木の成長等の自然条件、及び、降雨・降雪等の気象条件により、文献やカタログに示された通りの電波伝搬特性が、得られない。

○検証で得られる電波の効果的な使用方法等の知見：

- ・様々な条件下での検証を通じて、地形×自然×気象の多様な条件下における適切な利用環境の知見を得る。

IoTサービスの効果※各地域ごとのKPIは次スライド以降に記載。

○豪雨や豪雪等の自然災害への対策が課題となっている3つの地域において、官民連携によるIoT利活用体制を確立し、以下の課題解決を実現する。

- ・北海道 標津町：吹雪による帰宅困難者の削減（26名の△50%）
- ・新潟県 小千谷市：自治体の除雪費用の削減（約3億円の△5%）
- ・滋賀県 竜王町：水害による製造業・流通業の想定被害の低減（約50億円の△5%）

国立研究開発法人防災科学技術研究所

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 活用するデータと状況

センシング対象	データの種類	データの収集手法	データの量	データの活用方法と効果
北海道 標津町 ・積雪状況 (3台設置(うち1台は防災科研))	・積雪深 ・静止画像	・レーザ式積雪深センサ ※1時間毎にSIM通信 (ドコモMVNO) ・1時間単位 (ドコモMVNO)	・cm単位のデータを3か所 所で取得(24時間・約4 か月間) ・30万画素(0.05MB)、 3か所所で取得(約4か月 間)	1時間毎にクラウドに収集し、積雪深データ、画像データと気象庁メソ スケール気象モデルのデータを用いて、防災科研の吹雪予測モデルを用 いて分析することで、面的な吹雪予測情報が役場に提供され、役場で今 後の吹雪の見通しが分かるようになる。画像データは、AIによる積雪の 有無の判定を行い、吹雪モデルに入力している。
北海道 標津町 ・気象状況 (3台設置(うち1台は防災科研))	・気温・相対湿度 ・風向風速	・気温、湿度：ステンレス製 センサーチップ 風速：プロペラ式 風向：回転角度 ※1時間毎にSIM通信(ドコ モMVNO)	・気温：℃、湿度：% ・方位：1度 ・風速：0.1m/s 2か所設置予定 (24時間・約4ヶ月)	山沿いのと山から離れた平野部における吹雪の発生要素である気温、湿 度と風のデータを1時間毎にクラウドに収集し、防災科研独自観測所の データも併せてそれらのデータが役場に提供されることで、現在の吹雪 の発生ポテンシャルについて、役場でデータで確認できる。
新潟県 小千谷市 ・降雪強度の降 雪強度、気温 (2台設置)	・降雪強度 (パルス数) ・気温	・降雪：降雪センサで雪片か らの反射光を検出。パルス数 を降雪深に変換。 ・気温：サーミスタ。 ※10分毎に3G通信(ドコモ MVNO)	・約100バイト/回 (24時間・約4か月間)	得られるデータに加え、気象庁アメダス気象観測所データや防災科研が 独自に設置している通信付き降雪センサの約30か所のデータを防災科研 の降雪の面的把握技術により分析する。この分析結果を市役所や除雪業 者に提供することにより、市役所の除雪業務等の意思決定の一助となる。
新潟県 小千谷市 ・融雪井戸の水位 (2台設置)	・地下水位	・投込圧力式の水位計 ※10分毎にSIM通信(ドコモ MVNO)	・上記降雪センサのデー タと一緒に送信降雪強度、 気温と共に送信。	融雪井戸の水位低下などの時間変化を可視化することで、機械除雪の事 前準備が可能となると共に、井戸の状況を市民に見える化することで節 水の意識が高まることが期待される。
新潟県 小千谷市 ・除雪車プローブ、 映像	・除雪車GPS位置 等のプローブデー タ、映像	・GPSセンサ、映像取得カメ ラ(KDDI LTE通信)	・プローブは選択による (除雪稼働時) ・映像カメラ:100万画素 (除雪稼働時)	プローブデータには、除雪車GPS位置、速度、距離、時間(空車・実 車)、エンジン回転数、運行状態等が含まれる。デジタルタコグラフ機 能とドライブレコーダー機能が一体となった車載搭載装置。実際の除雪 車のデータを得て、除雪車の運行の見えるか、効率的運行の一助となる。
滋賀県 竜王町 ・小河川の水位	・水位	・超音波センサ ※10分毎にSigfoxで通信	・cm単位 ・12バイト/回 (24時間・約6か月間)	水位センサの情報を遠隔で得ることで、自治体応急対策班の出動人数及 びパトロール回数を減らすことが可能となり、台風等の最接近から被害 対応に集中することができる。当該データをオープンにすることで、企 業等の事前対応に寄与できる。
滋賀県 竜王町 ・平常時、災害時 の人流	・人流	・民間(携帯キャリア)が有 するデータを購入	・500mメッシュ単位	過去の災害発生時と平常時の人流データと浸水域のデータを重畳するな どして比較検討することで、今後の官民それぞれの災害対応の計画作り 等に寄与できる。

国立研究開発法人防災科学技術研究所

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 実証地域（標津町）の基本情報

地域名：北海道標津郡標津町

面積：624.69km²

人口：5,280人（2019年5月31日）

地域特性：町全体の面積は東京23区とほぼ同面積。日本最東端の「特別豪雪地帯」である。

年月日	種別	地域	被害状況
平成27年1月～3月	暴風雪 大雪	道東	週末を中心にほぼ毎週のように低気圧による大荒れの天候に。標津町では大雪警報、暴風雪警報、それぞれ6回発表。被害額は、農業施設を中心に速報値で計58,156千円、避難者数は計26名。
平成27年8月10日	大雨	道東太平洋側	台風14号からの暖湿気流と上空の寒気により大気の状態が非常に不安定となり、線状降雨帯による集中豪雨が発生。標津の時間雨量50.5mmは観測開始以来の新記録。
平成27年10月8日	暴風・高波・高潮	道東	超大型の台風23号が直撃。温低化後さらに勢力を強め、明け方から夜のはじめ頃まで、ほぼ1日中暴風雨もようとなった。標津の最大瞬間風速27.6m/s。判明している被害額は252,000千円余り、特に漁業関連の被害が深刻だった。
平成28年8月～9月	大雨、洪水、暴風	全道	台風、低気圧、停滞前線の影響を長く受け、大雨警報（浸水害）（土砂災害）計14回、土砂災害警戒情報2回、洪水警報3回、暴風警報2回が約40日の間に発表され、標津川合流点では氾濫危険水位を2回超過し、標津市街に2回避難勧告を発生した。8月の月間雨量は標津で631.0mm、糸網別で819.0mm。

OIoTサービス概要：町内3か所にカメラ、積雪深センサ、気象センサを設置し、カメラ画像（AI積雪有無分析用）や気温・風・積雪深データを1時間毎に収集して可視化するほか、得られたデータを防災科研の吹雪予測モデルにてGIS上で39時間先までの予測情報を提供することで、町職員の判断支援に資するサービスを提供する。

○KPI：

- 1) 帰宅困難者数の削減：吹雪1回の帰宅困難者発生11.5名×吹雪回数×0.5（50%削減）
- 2) 救援要請件数の削減：吹雪1回の救援要請発生6.5件×吹雪回数×0.8（20%削減）
- 3) 生乳破棄金額の削減：吹雪1回の生乳破棄損害額は482千円×吹雪回数×0.8（20%削減）



カメラ画像とセンサのデータを取り込んで吹雪予測情報を生成



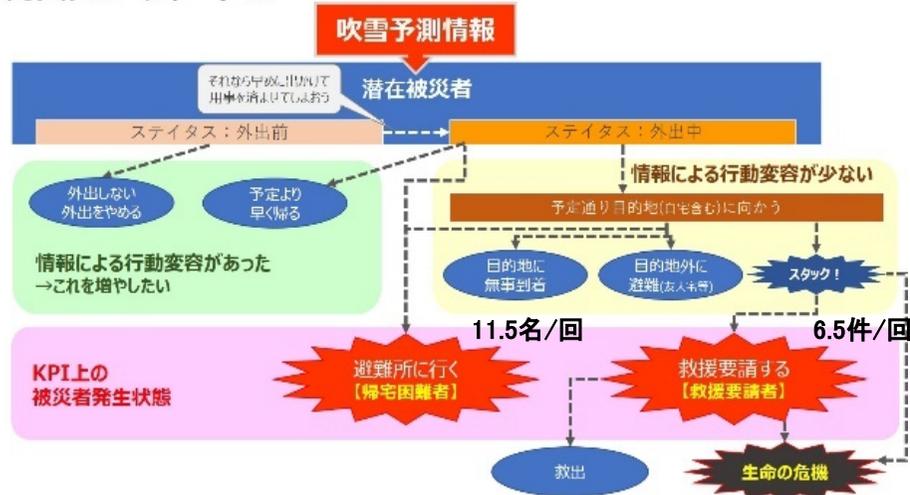
資料：総務省統計局「国勢調査」を基に作成（S.O.）
<http://pop-obay.sakura.ne.jp/>

国立研究開発法人防災科学技術研究所

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 実証事業の様子/成果： 標津町のKPIモデル（発災フローチャート）

発災フローチャート 1



発災フローチャート 2



1) 帰宅困難者数の削減

平成25～27年度の帰宅困難者数は149名、同期間の標津町防災担当が気象庁の情報や現地確認により判断した吹雪イベント発生件数は13回であったので、吹雪イベント発生1回あたりの帰宅困難者発生は11.5名と算出した。削減目標値としては50%と設定、KPIとしては今季の吹雪発生回数を乗じた数字に対して実際の帰宅困難者数が50%以下となることを目指す、とした。

<令和元年12月～令和2年2月の成果検証> 吹雪発生回数2回×11.5×50%=11.5名以下の目標値に対し、結果0名 **【KPI達成】**

2) 救援要請件数の削減

平成25～27年度の救援要請発生件数は84件(自治体に報告が無かった発生件数を加味した推測値含む)、同期間の標津町吹雪イベント発生件数は13回であったので、吹雪イベント発生1回あたりの救援要請発生は6.5件と仮定した。削減目標値としては20%と設定、KPIとしては今季の吹雪発生回数を乗じた数字に対して実際の救援要請件数が80%以下となることを目指す、とした。

<令和元年12月～令和2年2月の成果検証> 吹雪発生回数2回×6.5×80%=10.4件以下の目標値に対し、結果0件 **【KPI達成】**

3) 生乳破棄金額の削減

平成25～27年度が生乳破棄金額は6,261千円、同期間の標津町吹雪イベント発生件数は13回であったので、吹雪イベント発生1回あたりの生乳破棄損害額は482千円と算出した。削減目標値としては20%と設定、KPIとしては今季の吹雪発生回数を乗じた数字に対して実際の生乳破棄金額が80%以下となることを目指す、とした。

<令和元年12月～令和2年2月の成果検証> 吹雪発生回数2回×482×80%=771.2千円以下の目標値に対し、結果0円 **【KPI達成】**

■ 実証事業の成果：標津町の吹雪予測情報→2020年1月と2月の吹雪事例に役場で試験活用

吹雪予測情報の使い方

対象：標津町役場防災担当部署、道路管理部署、福祉担当部署、除雪担当者、酪農関係者等

情報内容

予測値：吹雪に関わる視程（運転の目安：何m先まで見えるか）、吹雪量（吹雪発生を目安）、吹きだまり速度（吹き溜まり発生を目安）、及び降雪、気温、風等の気象要素の5kmメッシュ・39時間先までの予測情報
実況値：気象状況が異なる町内3か所でセンシングした積雪深、画像、気温、湿度、風向風速の現在までの観測値

情報の使い方：例えば、役場職員は、実況値により、現在の吹雪発生状況を把握し、予測値にて今後の吹雪発生の推移を検討できる。暴風雪になる前や、町の一部の地域のみで吹雪が発生するようなケースで、防災無線やその他の媒体を用いて、町民や関係者へ吹雪情報を伝達することにより、安全確保や経済損失の予防としての行動変容（KPI達成：早期帰宅、生乳回収方法の変更等）が達成できる。

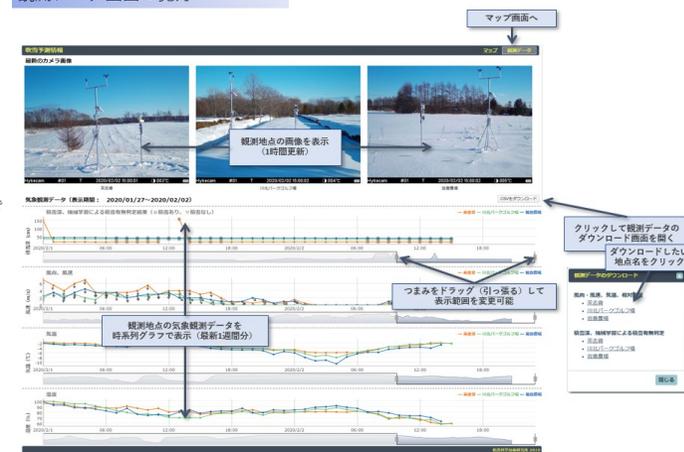
表示システムで表示する気象情報一覧

要素	データ	時間間隔		予測時間長		備考
	形式	更新間隔	データ	予測時間		
視程 m	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM 入力値 吹雪モデル
風速 m/s	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM
風向 °	ベクター	3時間	1時間	39時間先		MSM
気温 °C	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM
降雪量 cm/h (降雪強度)	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM 降水量、気温 等から推定した値
吹雪量 kg/m/s	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM 入力値 吹雪モデル
降水量 mm	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM
積雪深 cm	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM 入力値 防災科研積雪 モデル
吹きだまり 速度 cm/h	メッシュ	3時間	1時間	39時間先		MSM 入力値 吹雪モデル

IoTセンシング可視化データ一覧

センシング対象	データの種類	データの収集手法	データの量
積雪状況	・積雪深 ・静止画像	・レーザ式積雪深センサからの1時間ごとにcm単位で ・1時間単位	・cm単位のデータを3か所で取得 (24時間・約4か月間) ・3か所で取得(約4か月間)
気象状況	・気温 ・相対湿度 ・風向風速	・気温、湿度：ステレンス製センサーチップ ・風速：プロベラ式 ・風向：回転角度	・気温：°C ・湿度：% ・方位：1度 ・風速：0.1m/s ・2か所設置(24時間・約4ヶ月)

観測データ画面の見方



基本的な閲覧方法

- 地図上に吹雪に関わる気象要素の分布を重ねて表示します。気象要素は1時間ステップで39時間先までの予測情報を表示できます(3時間更新)。
- 地図上の観測地点をクリックすると、最新観測データ、観測地点画像、AI(機械学習)による積雪有無の判定結果を表示します。
- データを詳細に確認したい場合は、画面右上の「観測データ」リンクをクリックして観測データ画面を開きます。
- 地図は、一般的な地図閲覧WEBサイトと同じように表示域の移動・地図の拡大縮小ができます。

移動：

地図をクリックしたままドラッグ(組んで引っ張る)、または「移動ボタン」をクリックする

移動：

拡大縮小：マウスのホイールをスクロールする、または「拡大縮小スライダー」を上下に動かす



KPI達成のための情報活用：これらの情報を役場で利用するほか、役場から関係機関にお知らせする(第一段階)。→段階的にオープンデータ化(スマホ等での利用)、メディア、産業直接利用検討(第二段階)

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 実証地域（小千谷市）の基本情報

地域名：新潟県小千谷市

面積：155.19km²

人口：34,704人（2019年7月1日）

地域特性：新潟県中部、越後平野と山間地域の接点に位置する。

● 冬期間交通の確保

事業等	重要業績評価指標 (KPI)	平成26年度 (実績値)	平成31年度 (目標値)
除雪対策事業	機械除雪区間道路延長	145Km	146Km
消雪パイプ整備事業	消雪パイプ布設延長	109km	110km
消雪パイプフレッシュ事業	消雪パイプフレッシュ実施延長	8.8km	14.1km
流雪溝整備事業	流雪溝整備延長	68.4km	69.4km

○IoTサービス概要：消雪パイプ用の降雪センサから降雪データと気温データと、消雪パイプ用の井戸の水位をセンシングして収集し、詳細降雪状況を面的にとらえ、かつ、水位低下による消雪パイプの停止の可能性を得ることで、最適な機械除雪が可能となるIoTサービスを提供する。

○当初KPI(指標は1年間あたりの除雪費用)
Before：753時間/除雪車3台（H30年度）
After：715時間/除雪車3台（5%削減）

「気づき」を通じ、地下水位情報を用いたKPI検討を実施した結果をP10に追記した。



平沢新田

地下水位センサ

降雪センサ



桜町



降雪センサ

城内

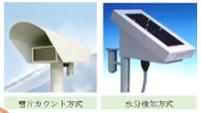


地下水位センサ

小千谷市に設置する降雪センサ、
地下水位センサ設置地点

地下水位可視化情報のほか、本事業で整備する平沢新田、桜町以外のセンサのデータも取り込んで詳細降雪情報を生成

降雪センサ



雪圧カウント方式

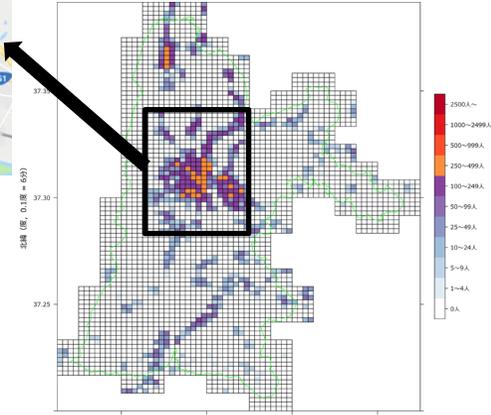
気分検知方式



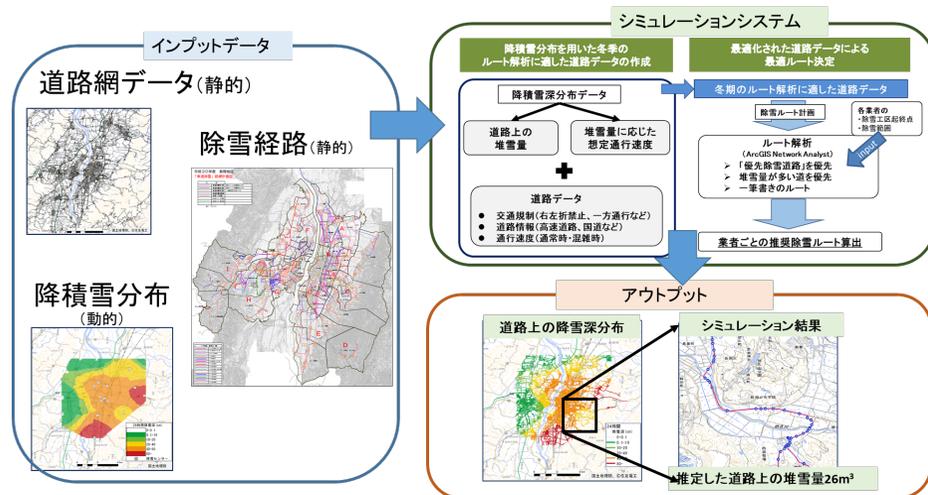
地下水位センサ



新潟県小千谷市の地域と重なる基礎地域メッシュに含まれる4分の1地域メッシュの常住人口（2015年、緑の線は当市区町村の境界）



■ 実証事業の様子：小千谷市のKPIモデル（左：除雪の最適ルート決定、右：計算式）

(1)道路長1mの除雪によって排雪場として必要な場所の体積(m³/m)

$$= \frac{\text{新積雪の密度(kg/m}^3\text{)}}{\text{除雪した雪の密度(kg/m}^3\text{)}} \times \text{道路幅(m)} \times \text{積雪深(m)}$$

$$= 0.2 \times \text{道路幅(m)} \times \text{積雪深(m)}$$

新積雪密度 : 約100kg/m³(新庄雪氷環境実験所構内実測平均)
 除雪した雪の密度 : 約500kg/m³(新庄雪氷環境実験所構内実測平均)

(2)除雪によって排雪場として必要な場所の体積(m³)

$$= \sum \text{除雪道路長} (0.2 \times \text{道路幅(m)} \times \text{積雪深(m)})$$

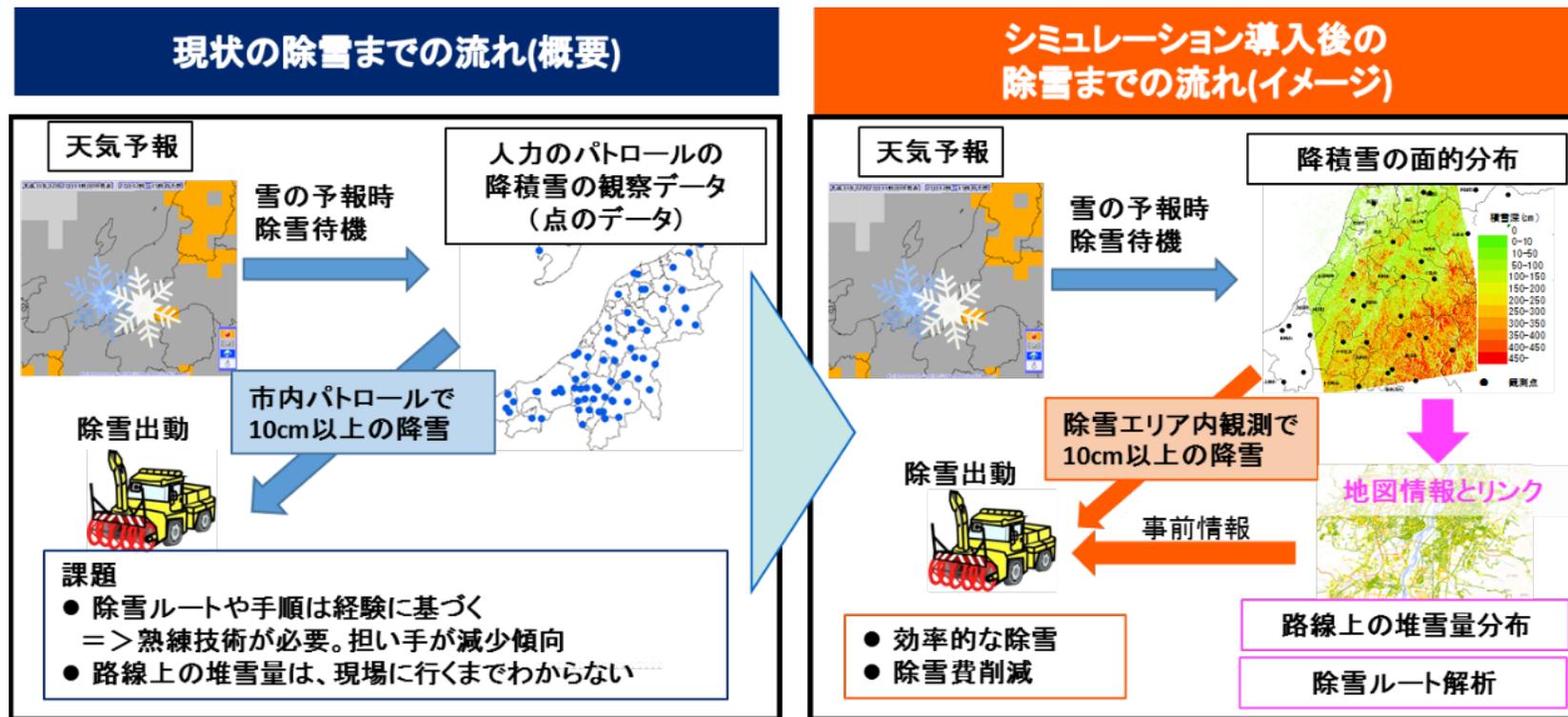
(3)積雪時走行時間(hour)

$$= \frac{\text{走行距離(km)}}{\text{平常時走行速度(km/h)} - (\text{減速係数} \times \text{降雪深(cm)})}$$

KPIを算出するための除雪最適化ルールの決定方法

- 対象エリアの道路網データと降積雪分布データを用意し、それらをGISの技術を用いて重ね合わせることで、道路上の降雪深を算出する。
- 道路上の降雪深と道路網データの道路幅を用いて上式(1)により道路長1mの除雪によって排雪場として必要な場所の体積を計算する。それらを除雪路線に沿って上式(2)のように積算することで除雪路線上に溜まっている堆雪量を計算する。
- 除雪車速度が降雪深によりどのくらい減速するかを上式(3)で計算し、道路網データに堆雪量に応じた想定通行速度データを付加する。このデータと除雪経路及び除雪に必要な条件を与え、ルート解析システムにより除雪計画路線を算出する。上式(3)で使用する平常時走行速度と減速係数は、除雪環境や除雪機の種類によって異なるので、IoTセンサから得られた除雪車の速度データと降雪深の相関関係から決定する必要がある。

■ 実証事業の様子：小千谷市のKPIモデル（除雪効率化イメージ）



ここでは、実際の小千谷市の除雪の目安である10cmの降雪で除雪を行うイメージで示した。小千谷市の場合、市内に気象庁アメダスはなく、これまでは人の手によるパトロールで10cmの降雪のチェックをして除雪車出動の判断をしていたが、IoTセンサから得られる情報を使うことで、毎時間、可視化された降雪情報を閲覧することが可能となり、さらには、除雪ルートの最適化の判断に資する情報を蓄積することができるようになる。

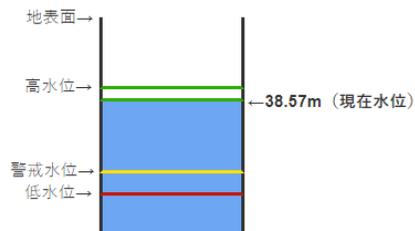
■ 実証事業の成果：小千谷市地下水位情報・詳細降雪マップ→2020年1～2月降雪時に市役所で試験活用

小千谷市 消雪井戸水位監視パネル

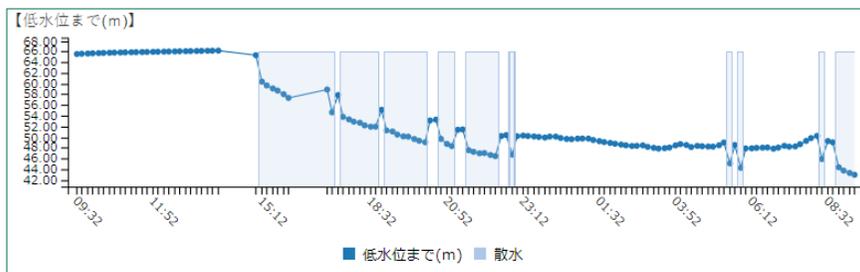
対象日時： 2020/02/06 09 : 20 現時刻

西小千谷1号線 238 小千谷市平沢新田 設置位置： 37.323025000000
138.794523000000

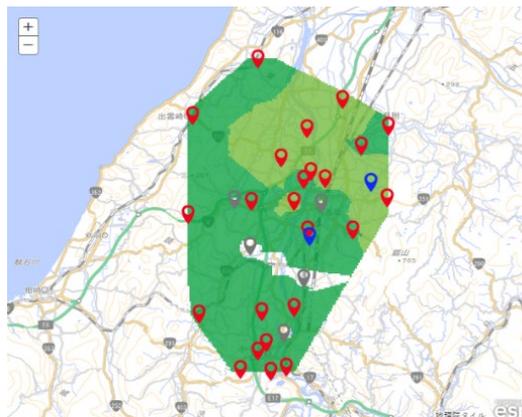
現在水位から低水位まで：42.93m
現在水位から警戒水位まで：32.93m
高水位（地表面から）：33.00m
警戒水位（地表面から）：71.50m
低水位（地表面から）：81.50m
気温：0.0°C
パルス数：3,087個



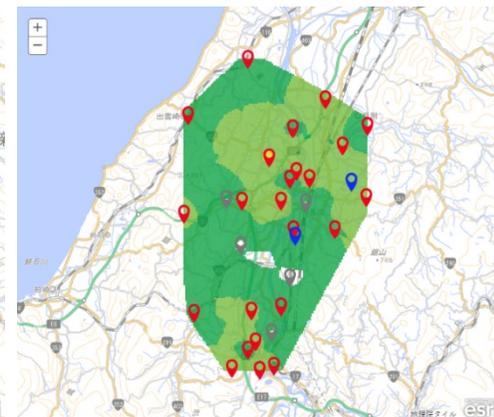
降雪センサーに設定された気温、パルス数（検出した雪の数）等により散水制御されています。水位が低水位まで降下すると「湧水」と判断されポンプを保護するため稼働停止します。その後高水位に回復するまでの間は稼働停止が継続し散水できません。



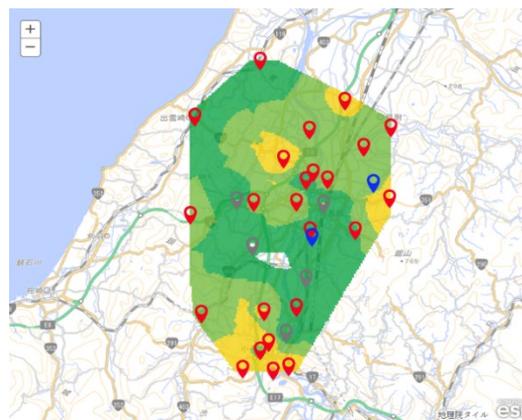
消雪パイプ井戸地下水位情報



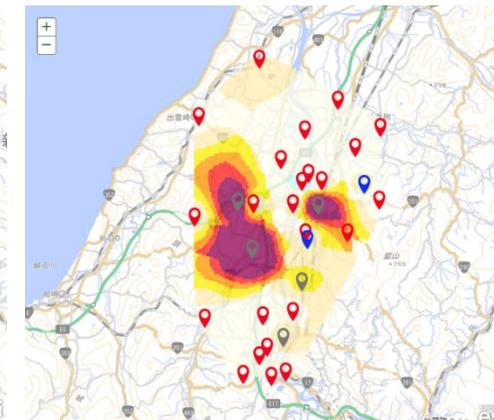
1時間降雪量



3時間降雪量



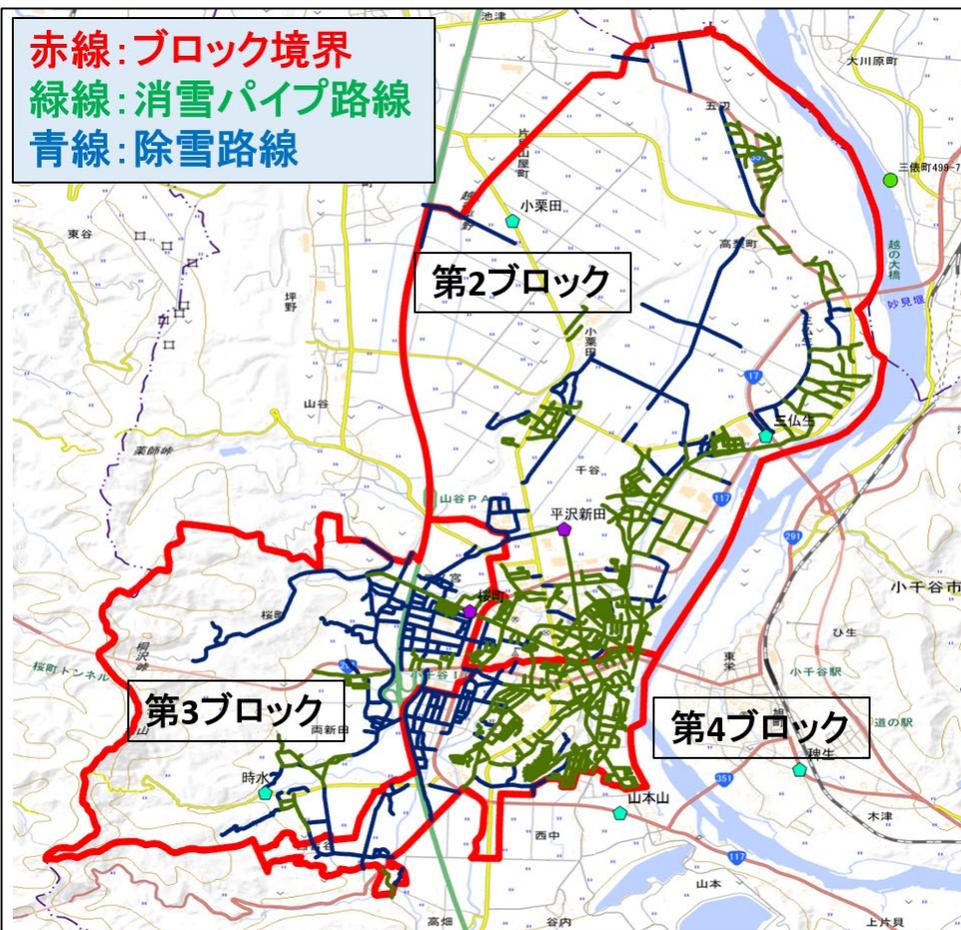
24時間降雪量



気温

KPI達成のための情報活用：これらの情報を市役所、除雪業者でリアルタイム利用する（第一段階）。
→段階的にオープンデータ化、データの蓄積と分析による最適除雪ルート、最適除雪計画の検討（第二段階）

■ 実証事業の成果：小千谷市地下水位情報→2020年1～2月降雪時に市役所で試験活用



前頁に示した地下水位情報を用いたKPI検討

- 2020年1月は除雪車稼働がゼロ
 => 除雪作業効率化の検証難しい。
 => 多雪年である2017/2018冬期のデータを用いて、消雪井戸が枯渇した場合の機械除雪対応でKPIを設定。

● 消雪パイプ路線を機械除雪する場合の除雪時間の計算

- 仮定 1：機械除雪路線総延長は54km
 - 仮定 2：2017/2018冬期の降雪のあった日55日
 => 除雪総延長2970km
 - 仮定 3：消雪パイプ路線総延長は152km
 - 仮定 4：消雪パイプ路線の機械除雪対応は3日間
 => 追加除雪総延長456km
 - 仮定 5：井戸水位監視で消雪パイプ井戸の濁水が回避される
 => 追加除雪総延長456km分の除雪をなくすることができる。
- 以上の仮定を用いて計算すると、井戸監視により除雪路線距離は、約14%短くなる。
 => 除雪時間が除雪路線距離に比例すると考えると、除雪時間も14%短縮。

■ 実証地域（竜王町）の 基本情報

地域名：滋賀県蒲生郡竜王町

面積：44.55km²

人口：12,019人（2019年6月1日）

地域特性：滋賀県の中央部に位置し、日野川とその支流である善光寺川、祖父川、惣四郎川が貫流する。

○IoTサービス概要：超音波式水位センサを河川（内水、外水）13か所（図の赤丸地点）に設置し、得られたデータをGIS上で可視化することで、自治体のみならず水害の被害を被る地域の各種ステークホルダーに情報提供することで、それぞれの意思決定や、自治体職員の巡視を削減に資するIoTサービスを提供。

○KPI：水害による製造業の想定被害額50億円（主要幹線道路を含む地域の浸水継続時間3日間の操業停止を想定）5%削減を目指す。
→計画当初のKPI。事業実施中の気付きによる新たなKPIをスライド12に示した。



竜王町の過去の水害（抜粋）

平成29年台風第21号（竜王町）

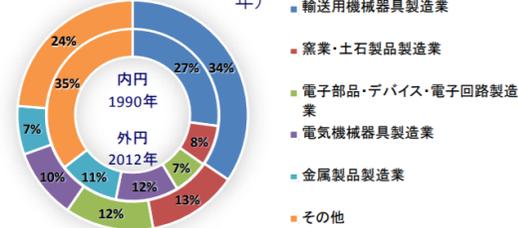
主な被害状況	
人的被害	0件
床上浸水	1戸
床下浸水	2戸
家屋一部損壊	10戸
堤防決壊（新川）	4カ所
停電	11集落
車両被害	20台
農地の冠水	200ha

昭和34年 伊勢湾台風（弓削）

主な被害状況	
床上・床下浸水	5戸

昭和19年の水害（小口）
祖父川、小口地先（右岸）が決壊し、水かさが増したため、住宅2戸が流出した。
※出典：小口史
※広報りゅうおう（2018年9月号より）

東近江経済圏の付加価値構成比（製造業中分類、1990年、2012年）

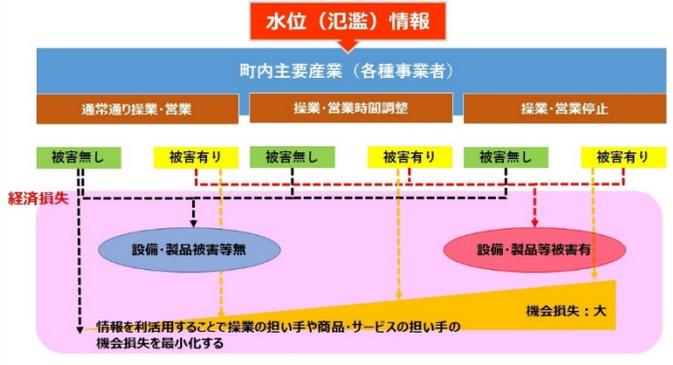


※経産省「滋賀県の地域経済分析」
東近江経済圏：近江八幡市、東近江市、竜王町、愛荘町

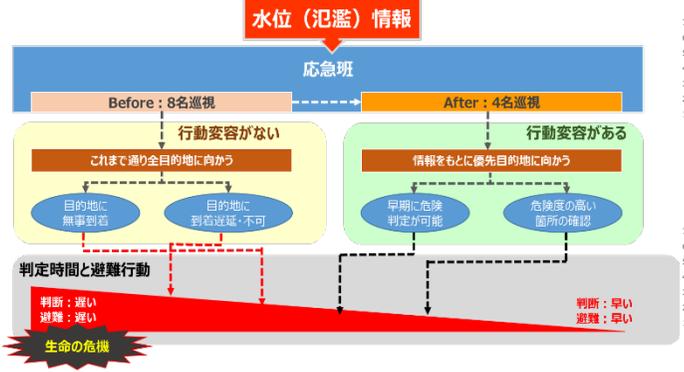
Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 実証事業の様子/成果：竜王町のKPIモデル（発災フローチャート）

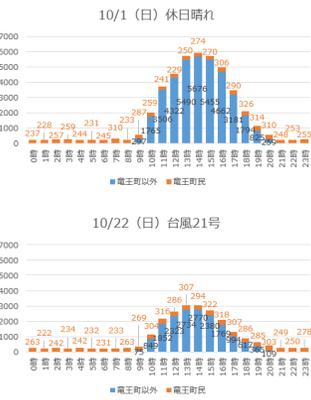
発災フローチャート 1



発災フローチャート2



商業エリアの状況

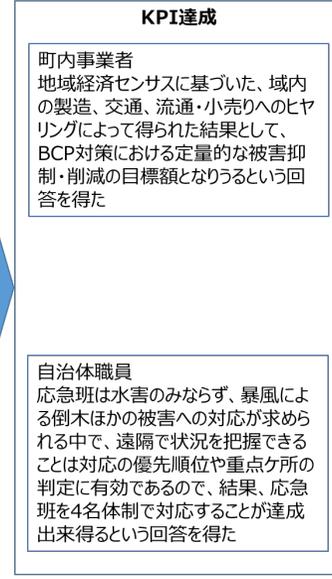
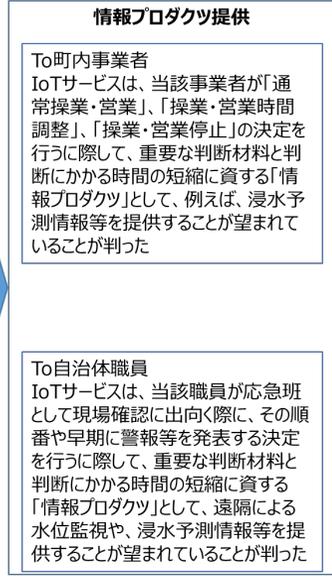
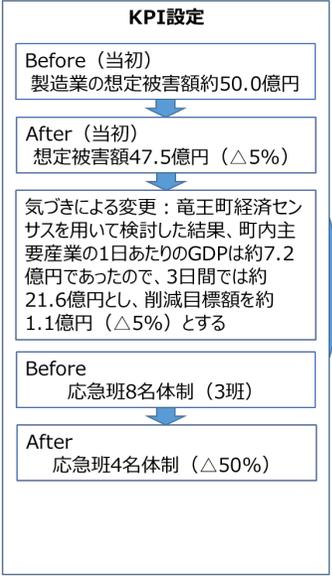


人流データの解析

一般的な休日昼間には、竜王町外から商業エリアに、5000人程度の人口流入があり、一般的な平日昼間には、竜王町外から商業エリアに、1500人程度の人口流入がある。

台風21号の際は、そもそも竜王町外からの商業エリアへの来場者数は、普段の休日と比較して半数程度となっており、台風が接近する前の14時過ぎから早めに帰宅を始めている。

KPIの検討



1) 製造業被害額約50億円（3日間）の5%削減

製造業被害額削減に関しては、実証期間中に地元企業や竜王町経済センサス情報などを調査した結果、町内主要産業の1日あたりのGDPは約7.2億円であったので、3日間では約21.6億円とし、削減目標額を約1.1億円（Δ5%）とした。域内企業へのイヤリングを通じて、BCP対策における定量的な被害抑制・削減の指標となりうるという結果を得た。

2) 町職員応急班のパトロール出動人数8名（3班）の半減

応急班は水害のみならず、暴風による倒木ほかの被害への対応が求められる中で、遠隔で状況を把握できることは対応の優先順位や重点ケ所の判定に有効であるので、結果、応急班を4名体制で対応することが達成出来得るという回答を得た。

3) 内閣府ガイドライン※に沿った3日分の備蓄コストの削減

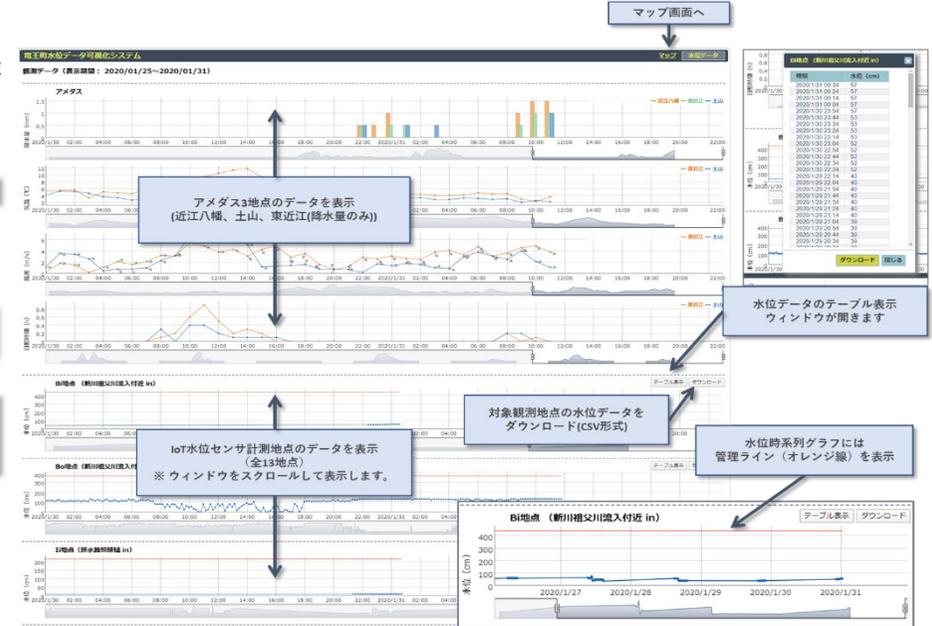
人流データの分析により、平日は町外からの人口は約1,700人の増加、休日は約5,000人の増加と推測された。備蓄コスト試算すると、平日：9千円×1,700人=1,530万円、休日：9千円×5千人=4,500万円のコストが官民に求められ、町外帰宅困難者対策だけでも備蓄コストが最大約4,500万円要する。情報提供サービスが活かされることで、想定人数を5%相当の250人分を削減すると、約225万円の削減となる。 ※「大規模地震の発生に伴う帰宅困難者対策ガイドライン」

■ 実証事業の成果：竜王町の水位監視情報→2019年10月台風19号事例に役場可視化機能を試験活用

基本的な閲覧方法

- ▶ 地図上に選択した気象要素の分布を重ねて表示します。気象要素は1時間ステップで39時間先までの予測情報を表示できます（3時間更新）。
- ▶ 地図上の水位観測地点をクリックすると、10分ごとの水位の時系列グラフを表示します。
- ▶ データを詳細に確認したい場合は、画面右上の「水位データ」リンクをクリックして水位データ画面を開きます。
- ▶ 地図は、一般的な地図閲覧WEBサイトと同じように表示域の移動・地図の拡大縮小ができます。

移動： 地図をクリックしたままドラッグ（掴んで引っ張る）、または「移動ボタン」をクリックする
 拡大縮小：マウスのホイールをスクロールする、または「拡大縮小スライダー」を上下に動かす



令和元年台風19号時の水位計測状況 B地点（新川祖父川流入付近）



● IoT水位センサにより、これまで不明であった中小河川の水位変動が良く分かった。特に、バックウォーターが分れば水門フラップを閉めるべきかどうかの判断ができる。

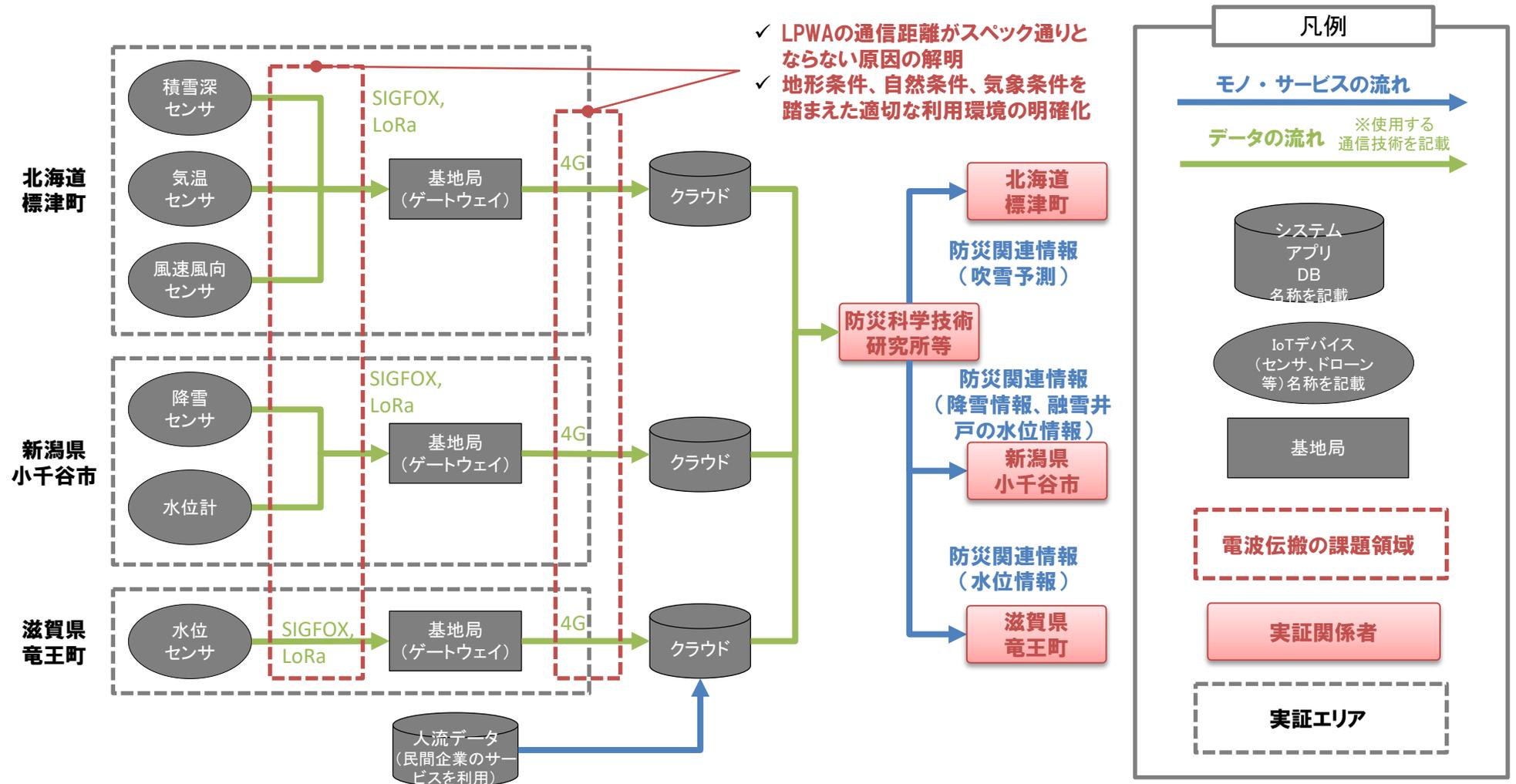
● カメラは現状の直感的理解に適するが、センサは定量的にリスクが把握できるとともに、次の災害に向けた分析やデータ取得ができる。

KPI達成のための情報活用：これらの情報を役場で利用するほか、役場から関係機関にお知らせする（第一段階）。→段階的にオープンデータ化（スマホ等での利用）、メディア、産業直接利用検討（第二段階）

- ① 竜王町総合防災システムとの連動、県の防災システムとの連動
- ② 中小河川データを蓄積することでの氾濫予測
- ③ 流域自治体への働きかけによる上流水位把握による早期避難

※バックウォーター現象：増水した本流の流れにせき止められる形で支流の水位が急激に上がる現象。

■ ガイドライン作成に向けた整理（システム構成図）



国立研究開発法人防災科学技術研究所

Society5.0 社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 実証事業の過程：2019年9月5日実施大型降雨実験施設での実験（つくば）の様子

目的：机上検討で設定した、電波伝搬に影響を与えるであろうと想定される地形条件、自然条件（草木など）、気象条件（雨）などの諸条件に従って、防災科研の大型降雨実験施設にて実験を行うことで、実証前の事前検証を行うことを目的として実施した。

対象：LPWAの内、SIGFOX、LoRaの2種と携帯電話通信（ドコモ）の電波

内容：

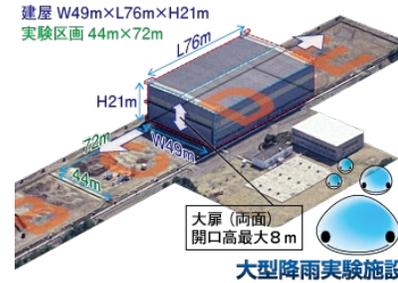
- ・SIGFOX、LoRaは発信機と受信機を設置し、諸条件下で検証
- ・携帯電話通信は、発信機を設置し、近傍基地局で受信し、諸条件下で検証

諸条件：

- ・降雨強度：降雨無し、100mm/h、200mm/h、300mm/h
- ・雨の粒径も現実に近いものになるようなノズルを選択
- ・雨に加え、草木、地形、地面の濡れなども考慮して実験

結果：降雨環境における検証実験の結果、LPWA(Sigfox、LoRa)、携帯電話通信のいずれにおいても**降雨強度との相関は見られなかった。**

散水性能	
雨滴流径	Φ0.1~6mm程度
降雨強度	15~300mm/h(0.25~50.0mm/10min)
降雨範囲	W44m×L72m(4分割可能)
降雨ノズル数	総数2,176個(544個×4)
ノズル設置高	G.L.から16m
散水系統	各系統：全面散水(1/4面散水)mm/h
(各系統ノズル544個)	第1系統 15~45(15~50)mm/h
	第2系統 40~200(40~250)mm/h
	第3系統 120~220(180~260)mm/h
	第4系統 200~300(255~300)mm/h
送水ポンプ	8.0kl/min×2台(200kW,9.4kg/cm2)



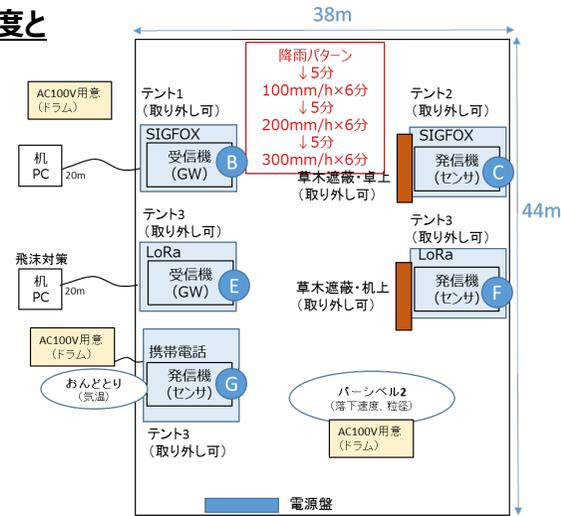
竜王町想定センサ設置全景
・実験環境（右図）の通り、約30m間にセンサ（発信側）と受信機を設置し降雨時の状況を再現する実験を実施



降雨時の状況の再現
・実験環境（右図）にて100mm/h~300mm/hの降雨状況を再現 ※写真は300mm/hの再現時



草木（笹の一種）でカバーして実験
・実験環境下（右図）にてセンサに近接して草木を設置し、自然環境である草木の伸張、着水による影響を実験 写真では草木の陰にある木製の棚にセンサ設置



実験環境：降雨エリア（1.5m高センサ設置）

■ 実証事業の過程：2019年9月25-27日実施雪氷防災実験棟（新庄）での実験の様子

目的：机上検討で設定した、電波伝搬に影響を与えるであろうと想定される気象条件（雪）の条件に従って、防災科研の雪氷防災実験施設にて実験を行うことで、実証前の事前検証を行うことを目的として実施した。

対象：LPWAの内、SIGFOX、LoRaの2種と携帯電話通信（ドコモ）の電波

内容：

- ・SIGFOX、LoRaは発信機と受信機を設置し、諸条件下で検証
- ・携帯電話通信は、発信機を設置し、近傍基地局で受信し、諸条件下で検証

諸条件：

- ・施設内温度：-2℃、3℃
- ・降雪、着雪、および、冠雪後の降雨を再現

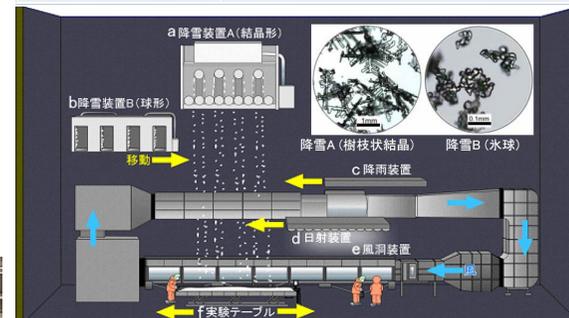
結果：

- ・LPWA(Sigfox、LoRa)、携帯電話のいずれにおいても、吹雪、着雪、冠雪による電波伝搬への影響は見られなかった。それに対して、**冠雪に加えて降雨があった場合には、RSSI（Received Signal Strength Indicator：受信信号強度）の低下が見られ、降雨による冠雪中の含水率増加による影響がある**という結果が得られた。（右下グラフ参照）

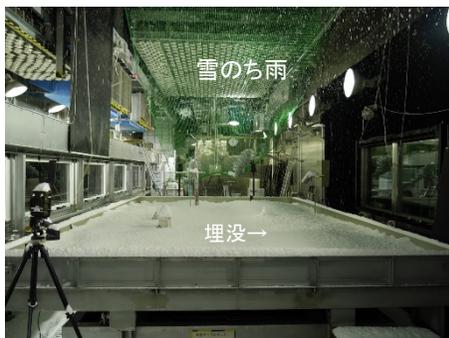
- ・**この特徴を留意して設置**することで、実証に当該電波3種を用いることは問題ないという結果を得られた。

実験施設の環境再現性能

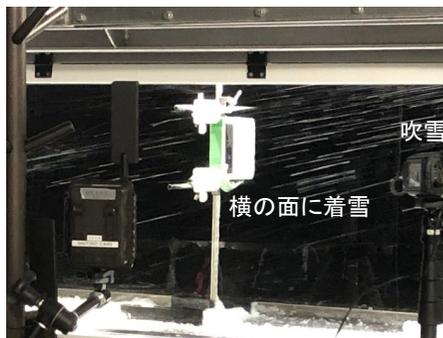
装置	性能
降雪装置A	降雪強度：0～1mm/時(水換算) 樹枝状結晶(径0.5～5mm)
降雪装置B	降雪強度：0～5mm/時(水換算) 氷球(径約0.025mm)
降雨装置	降雨強度：0～6mm/時
日射装置	日射強度：0～1000W/m ²
実験テーブル	寸法：3m×5m 傾斜角：0～45°
風洞装置	寸法：1m×1m×14m(測定領域) 風速：0～20m/s
横風発生装置	風速：0～10m/s



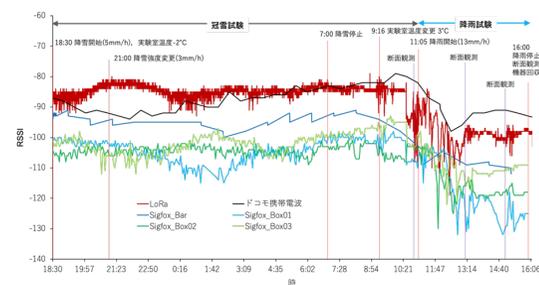
センサ設置時



小千谷市豪雪による冠雪→降雨再現



標津町吹雪着雪再現



計測結果のグラフ化例

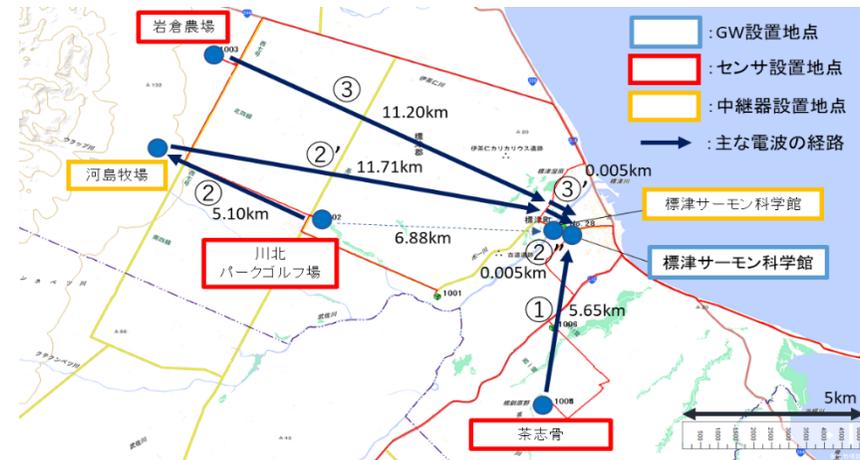
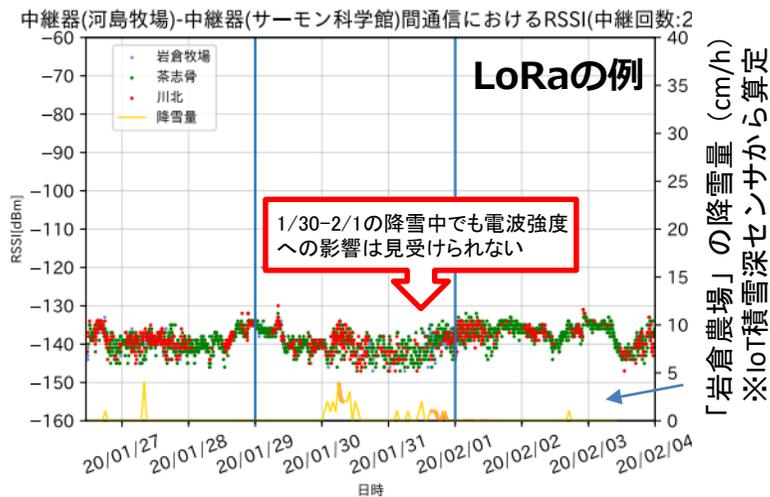
■ 電波伝搬実証地域（標津町）の様子と成果

目的：防災科研の雪氷防災実験棟における実験結果を基に、実環境下で実証を行うことで、①電波伝搬の実証、②IoTによる地域課題解決、③継続的な利用条件の検証を行うことを目的とする。

対象：

- ・電波伝搬：LPWAの内、SIGFOX、LoRaの2種と携帯電話通信（ドコモ）の電波 →本スライドで示す。
- ・課題解決：積雪深センサ、気象センサ、カメラを用いた積雪深と各種気象状況の収集と可視化（電波は携帯電話通信） →スライド3～5に示した。

検証事例：1月30日～2月1日の低気圧接近に伴い、標津付近も1月30日～2月1日にかけて雪が降り、1月30日には降り方が強くなった。



電波伝搬試験用装置の設置位置（LoRa用のみ中継器設置）と
主な電波の経路（地理院地図を加工して作成）

携帯電話回線は問題なく通信でき、IoTセンシングは携帯電話回線を用いた。

Sigfoxを用いた実験では、当初GWと送信機間の見通しが悪いため通信が不安定であるといった問題があったが、GWにおけるアンテナを移設することにより通信を安定化させることができた。

LoRaを用いた実験でも同様に、送信機とGW間の地形や障害物により、GWにおいて送信機の電波が届かない問題が生じたが、2つの中継器を追加で設置することにより、この問題を解決した。



岩倉牧場、川北パークゴルフ場、茶志骨の30日0時の降雪

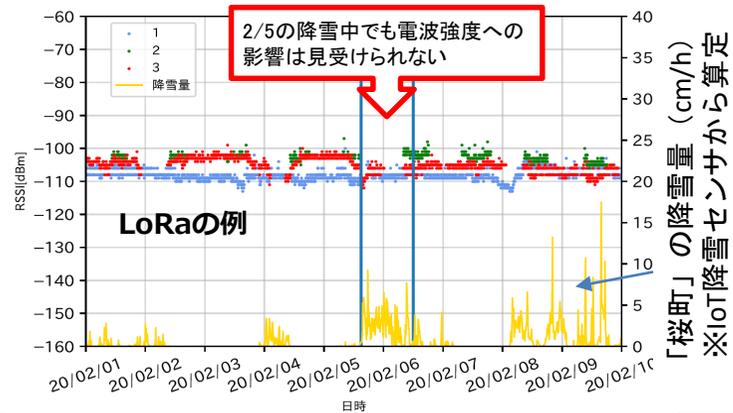
■ 電波伝搬実証地域（小千谷市）の様子と成果

目的：防災科研の雪氷防災実験棟における実験結果を基に、実環境下で実証を行うことで、①電波伝搬の実証、②IoTによる地域課題解決、③継続的な利用条件の検証を行うことを目的とする。

対象：

- ・電波伝搬：LPWAの内、SIGFOX、LoRaの2種と携帯電話通信（ドコモ）の電波 →本スライドで示す。
- ・課題解決：積雪深センサ、水位センサ等を用いた降雪状況と融雪井戸の水位の収集と可視化（電波は携帯電話通信） →スライド6～10に示した。

検証事例：2020年2月5日朝に、新潟県内を寒冷前線が通過し、5日午後には寒気が流れ込み冬型の気圧配置となった。小千谷でも筋状の雪雲が流れ込み、5日夕方以降は雪となった。



「桜町」の降雪量 (cm/h)
※IoT降雪センサから算定



2020年2月5日21時（左）と6日0時（右）の
小千谷市役所屋上降雪



電波伝搬試験用装置の設置位置と主な電波の経路（地理院地図を加工して作成）

小千谷市における無線通信試験は、Sigfox、LoRaともに、GWは市内中心部で比較の見通しが良い市役所の屋上に設置した。また、送信機は全て、電柱や壁などの高い位置で、市役所方面に向けて電波伝搬に支障が起きないように設置した。

LPWA(Sigfox、LoRa)と携帯電話通信のいずれにおいても、降雪による電波伝搬への影響は見受けられない。設置場所を工夫することにより冠雪（+降雨等の融雪）を回避することができたためであると考えられる。

■ 電波伝搬実証地域（竜王町）の様子と成果

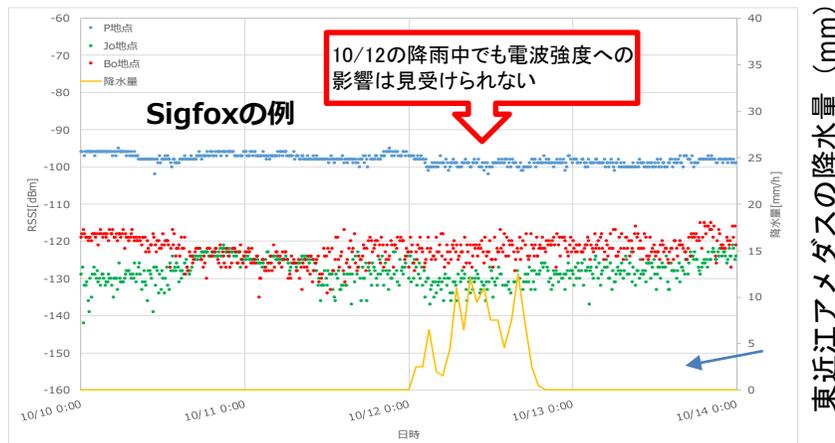
目的：防災科研の大型降雨実験施設における実験結果を基に、実環境下で実証を行うことで、①電波伝搬の実証、②IoTによる地域課題解決、③継続的な利用条件の検証を行うことを目的とする。

- 対象：
- ・電波伝搬：LPWAの内、SIGFOX、LoRaの2種と携帯電話通信（ドコモ）の電波→本スライドで示す。
 - ・課題解決：水位センサを用いた河川水位の収集と可視化（電波はSIGFOX）→スライド11～13に示した。

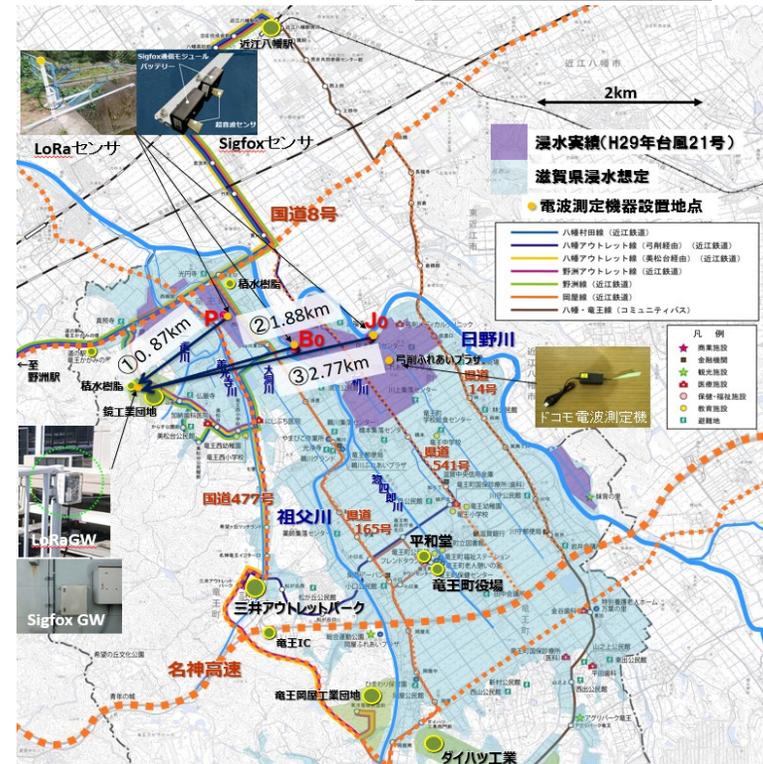


2019年
10月12日
17時増水
した日野川

検証事例：南鳥島近海で発生した台風第19号は、マリアナ諸島を西に進み、一時 大型で猛烈な台風に発達した後、次第に進路を北に変え、日本の南を北上し、2019年10月12日19 時前に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した。滋賀県でも大雨となり、東近江アメダスでは、10月12日の日雨量が119mmとなり、16時に最大雨量12.5mm/hを記録した。



2019年台風19号の期間におけるIoT水位センサ（Sigfox）のRSSIと近江アメダス降水量（mm）



電波伝搬試験用装置の設置位置と主な電波の経路 (地理院地図を加工して作成)

LPWA(Sigfox、LoRa)と携帯電話通信のいずれにおいても、降水量の変動による受信レベルの減衰は見受けられていない。

■ 実証事業の全体構造 (ロジックツリー)

事業の目指す姿	「目指す姿」を実現するための課題	課題ごとの解決策	解決策の評価				
			評価方法	モニタリングする指標 (KPI)	実証前の値 (測定年(月日))	現状の値 (測定年(月日))	実証終了後の値 (測定年(月日))
多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築を通じた減災社会の実現	吹雪発生予測データを活用した暴風雪被害の軽減	雪の有無、積雪深の把握	各データの把握の可否	実用に資するセンシング精度	実績なし	稼働開始 (2019年12月)	稼働中(100%) (2020年2月)
		積雪深データ、気象庁メソスケール気象モデルの予測データ等を活用した吹雪発生予測時系列情報の算出・可視化	職員へのアンケート	職員の要望、満足度	ヒアリング1回 (2019年8月20日)	ヒアリング2回 (2019年12月26日、2020年1月24日)	情報設計に意見を取り入れた (2020年2月)
		吹雪発生予測時系列情報データを用いた町役場のオペレーションの導入	職員へのアンケート	予測情報の活用に関する気づきの声	ヒアリング1回 (2019年8月20日)	ヒアリング2回 (2019年12月26日、2020年1月24日)	全4回 (2020年2月に最終実施)
		オペレーションの改善による帰宅困難者数の低減	帰宅困難者数	26名 (2014年度)	0名/吹雪事例1回 (2020年1月)	0名/吹雪事例2回 (2020年2月)	
	降雪データや地下水位データを活用した消雪・除雪作業の効率化	降雪分布、地下水位の把握	Web管理画面のモニタリング	システム稼働割合	実績なし	稼働開始 (2019年12月)	稼働中(100%) (2020年2月)
		上記データを活用した消雪・除雪オペレーションの導入	除雪にかかる時間の削減状況	除雪にかかる時間	753時間/3台 (2018年度)	稼働開始 (2019年12月)	小雪のためロジックのみ策定 (2020年2月)
		職員・除雪業者へのヒアリング	消雪・除雪状況に対する満足度	ヒアリング2回 (2019年8月19日、30日)	ヒアリング2回 (2019年10月18日、2020年1月24日)	情報設計に意見を取り入れた(2020年2月に最終実施)	
	河川の水位データや人流データを活用した浸水被害の軽減	河川の水位データの把握	河川水位データの推移	実用に資するセンシング精度	実績なし	台風19号時観測 (2019年10月12日)	稼働中(100%) (2020年2月)
		河川の水位データ等データを活用した、企業の生産調整、営業時間調整の導入	企業、役場職員へのアンケート	水位データ活用に関する気づきの声	ヒアリング5回(2019年8月1、5日、9月6、26日、10月3日)	ヒアリング (2019年12月23日、2020年2月10日)	全8回(2020年2月に最終実施)
		製造業被害額の削減状況	製造業被害額	50億円 (3日間の生産高)	ヒアリング・検討中 (2019年11月)	2020年2月最終ヒアリング後に決定	
商業被害額の削減状況		商業被害額	3億円 (3日間の売上高)	ヒアリング・検討中 (2019年11月)	2020年2月最終ヒアリング後に決定		

国立研究開発法人防災科学技術研究所

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 実装モデル

事業主体

研究機関(民間事業者・大学連携)
 ・防災科学技術研究所
 ・NTTドコモ・東京大学
 ・各地域の民間事業者等
 ・システムの維持管理、データ分析
 コンサルティング 等

← 各種センシングデータ
 ← 防災関連情報(含:予測等)等 ※原則有償
 ← サービス利用料

← 防災関連情報(含:予測等)等 ※原則有償
 ↑ サービス利用料(データ、情報、システム等)

サービス利用者:物流・交通事業者
 製造業、農業・畜産
 大型商業施設等
 ・事業主体から得られる有償の情報
 や、自治体から得られる無償の情
 報等を活用し、BCP対策等を実施

← 防災
 関連
 情報

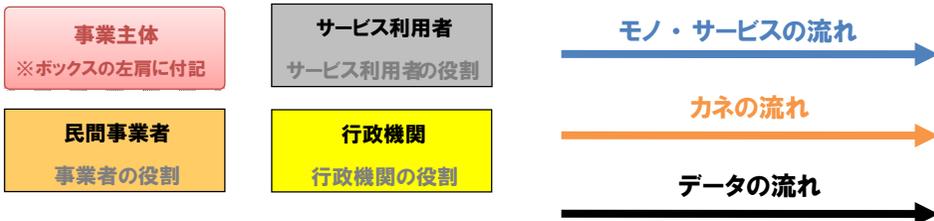
行政機関:標津町、小千谷市、竜王町
 (情報提供とサービス利用)
 ・センサ機器等の設置・維持管理
 ・自治体保有のオープンデータ化
 ・各種情報の利活用

→ 防災
 関連
 情報

市民・従業員・観光客等
 (情報利用)
 自治体からの情報を利活用し、
 ・市民:自助・共助による避難行動
 ・従業員:帰宅難民回避
 ・観光客:帰宅難民回避

← 防災
 関連
 情報

ビジネスモデルで使用する凡例

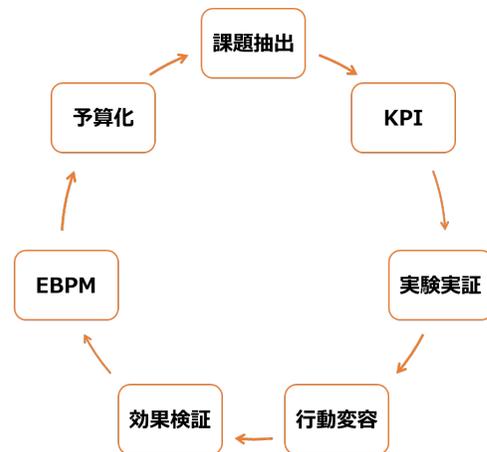


Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 今後の取組 収益モデル

地域課題解決には、「課題抽出」(P) → 「KPI設定」(P) → 「実証」(D) → 「行動変容」(D) → 「効果検証」(C) → 「EBPM」(C&A) → 「予算化」(A)のPDCAサイクルで臨むことが有効である。

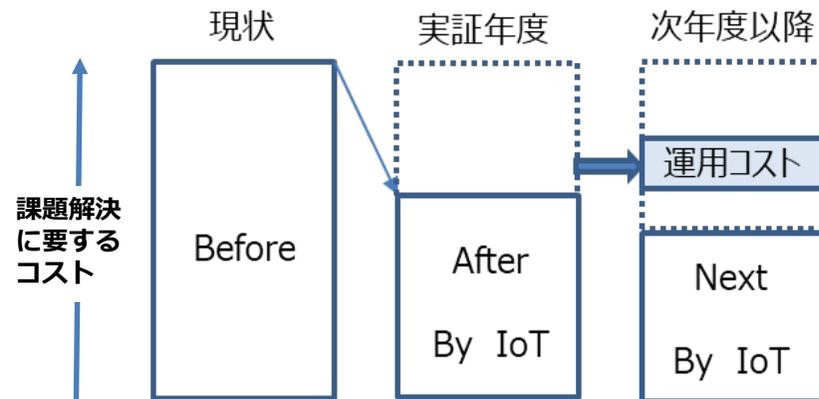
ここで、地方自治法第2条14項において、「地方公共団体は、その事務を処理するにあたっては、住民の福祉の増進に努めるとともに、最少の経費で最大の効果を挙げるようにしなければならない。」とされている。これまでは局所的な事例や体験などのイベントベースによる政策や事業がなされてきた。これをIoT/ICT/データ利活用などの取組を通じて定量的に効果検証することで、EBPM (Evidence-based Policy Making、エビデンスに基づく政策立案)に取り組みことは、最小の経費で最大の効果が期待でき、予算化においても、単に新規で追加的な予算処置と捉えるのではなく、IoT等の利活用により事業の効率化が図られることで、新たな財源を生み出し、必要なセンサ類の実装の早期実現なども可能となる。



地域課題解決のPDCAサイクル

IoTサービスを地域課題解決の有効な取組みとして実装させるには、当該サービスへの予算が必要となる。それにはEBPMによって示された根拠をもとに予算化することが大切である。具体的にはこれまで掛かっていた費用を実証期間においてIoTサービスの導入で抑制・削減出来た分から、その一部を翌年度に予算化して効率化と課題解決を図ることも可能である。例えば、小千谷市を例に挙げると、現状の除雪予算約3億円の5%削減できると約1,500万円の新たな財源が生まれ、除雪車の全車両に「ドライブレコーダー」を実装可能となり、より効率化が図れるという試算結果も得られた。

また、地域課題によっては、自治体単独でなく、地域の各種ステークホルダーとの官民連携や、オープンデータとして民間主導による予算措置も検討が出来る(3地域における地域課題解決のためのコスト負担検討参照)。



地域課題解決に資するIoTサービスの予算化

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

実証終了後の予定は以下の通りである。

・事業内容

提供するサービスは、対象を自治体及び地域の企業等に対して、気象災害（降雨・降雪・吹雪等）による被害の軽減に資するコンサルティング・サービスを含めたIoT/ICT/AI/データの利活用サービスである。具体的には、前述に示した「PDCAサイクル」の実行を効率的に遂行するためのサービスを提供する。

・収益モデル

大別すると2つである。一つ目は、自治体及び地域の企業等が予算措置を行い、初期コストと当面（概ね3カ年ほど）のランニングコストを負担して当該サービスに係る費用を負担して、それから収益を得るモデル。二つ目は、アズ・ア・サービスモデルとして自治体や地域の企業等より月額サービス料を得るモデル。このアズ・ア・サービスモデルの派生形として、SIB（ソーシャル・インパクト・ボンド）方式などの成果報酬モデルの提供も想定している。

・運営体制

本事業に参画した防災科研、東京大学、ならびにNTTドコモ・ドコモCS他による協議により運営主体を取り決める予定である。運営には、営業主、システム保守・運用主体、研究開発主体等、機能分担が求められるので、それぞれの強みを活かした運営に努めることを目指している。

・資金計画

運営体制構築と並行して資金計画の立案も進めるが、本事業を活かして、例えば今回の3自治体による次年度の予算化を原資にスタートも検討している。幸い、昨今のクラウド利用料は、規模に応じた課金体系が一般的であるので、段階的な拡張も可能であると考えられる。また、自治体に加えて、「BCP対策に力を入れている企業」や、「災害対策・防災サービスを提供している企業」等との協業による資金調達の可能性もある。

・分科会での自治体からのコメント

標津町：現場に行かないと判らない状況が迅速かつ遠隔で判ることは、域内の住民、滞在者、企業等への情報発信において非常に有効である。町が発信する情報を活かして関係者が行動変容してもらえると、人的・経済的被害の抑制・削減が図れる。

小千谷市：今年は降雪が殆どなく、期待された実証は出来なかったが、PDCAサイクルに従って関係者による検討を行うことで、KPIの実現が現実的であることが判った。

竜王町：IoTセンサによりバックウォータ現象が遠隔で把握できた成果は大きい。遠隔で把握できると、応急班の出動回数や人数の削減や効率的な巡回が可能となる。

■ 今後の取組 収益モデル

3地域における地域課題解決のためのコスト負担検討

	自治体のみ負担	官民連携による負担	自治体からのオープンデータ化
理由	<ul style="list-style-type: none"> ・人命に関わることや、企業誘致などの政策上、地元企業への情報提供は自治体の責務 ・スマート自治体化にはIoT/ICT/データ利活用は必須 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域において、自治体も民間企業等も、それぞれ災害対策は実施しており、個別バラバラに情報を収集（購入も）することは無駄である。 ・「SIB方式」(*)等の成果報酬型によるIoTサービス提供事業者を求める 	自治体（市町村）は「官民データ活用推進計画」策定が努力義務として求められており、その計画においてオープンデータの促進も求められている。
概要	危機管理課や商工・農林水産課などにおいて新規予算化または予算の組み換えなどを行う。地元企業への情報提供は企業誘致策の一環として予算化する。	官民連携による協議会などを設立し、自治体、地元企業等により受益者負担額の合意形成を行う。	自治体で収集するIoTセンシングデータをオープンデータとして広く無償公開し、当該データを利活用して商用サービスを行う情報提供事業者から地元企業等が個別に当該サービスの有償または無償で提供を受ける。
対象	単独自治体のみならず県との連携や近隣市町村との共同利用も	<ul style="list-style-type: none"> ・BCP対策に積極的な企業 ・自治体と防災面で協定を締結している企業 ・指定公共機関 など	<ul style="list-style-type: none"> ・気象情報サービス企業 など

* SIB（Social Impact Bond：ソーシャルインパクトボンド）：官民連携の手法の一つである。行政サービスを民間のNPOや企業に委託し、民間の資金提供者から調達した資金を基に事業を行い、事業が予め合意した成果を達成した場合にのみ行政から資金提供者に報酬が支払われる。

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 今後の取組 展開シナリオ

実証事業により構築したIoTサービスの今後3年間の展開案は下記の通りである。

- ・展開主体及び体制：防災科研が主となり、IoT関連企業との機器類の共同開発や標準化、情報プロダクツ化への研究とモデル化、ならびに、将来的にはIoTサービス提供も視野に入れており、NTTドコモによるクラウド運営、スマートフォン等へのアプリケーション実装などとの連携を中心に東京大学との共同研究などが中心となって展開する。

- ・展開方法：防災科研が主催するコンソーシアムや、総務省「地域IoT官民ネット」における「IoTデザインハブ」の機会を利用して展開する。

- ・展開先：主に地方自治体であるが、1718市町村の内、本事業の課題解決が望まれる自治体に展開する。今後3年間で少なくとも3地域のモデルをそれぞれ毎年度2地域に展開することで、3年後には、3地域モデル×2地域/年度×3年度=18地域の実装を目指す。

- ・展開における留意点：上述の展開方法を活かしての展開となるが、人的リソースも限られているので、本事業のガイドラインを広く公開することで、例えば「標津町モデルWG」等を立ち上げてグルーピング化等を行い効率的な展開に努める。

今後のスケジュール

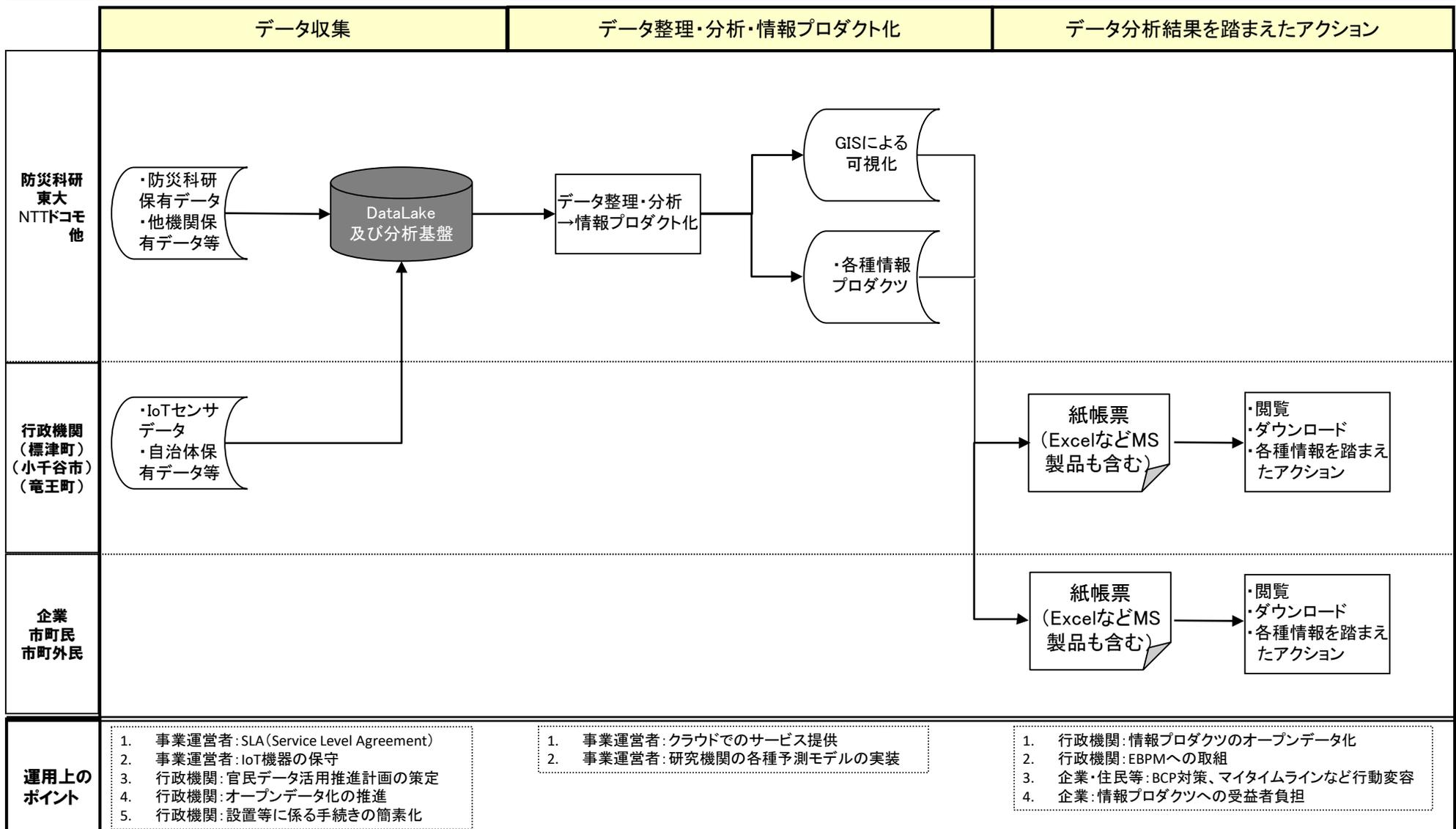
実証項目	令和2年度		令和3年度		令和4年度	
	4-9月	10-3月	4-9月	10-3月	4-9月	10-3月
ア) 類似地域への展開	→					
令和2年度： 3地域モデル×2自治体実証 上記自治体による自走	→		→			
令和3年度： 3地域モデル×2自治体実証 上記自治体による自走			→		→	
令和4年度： 3地域モデル×2自治体実証					→	
イ) コンソーシアムの開催	▲	▲	▲	▲	▲	▲
ウ) デザインハブへの参加		→		→		→

国立研究開発法人防災科学技術研究所

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

業務フローモデル

・行政機関からのセンシングデータやオープンデータを事業主体が他のデータや予測モデルに基づいて情報プロダクツ化(以下、情報)してサービス利用者、行政機関、行政機関を通じて在圏者に提供する。情報を得たものは、行動変容に至る。



Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ ガイドライン作成に向けた整理

① 実際の電波伝搬特性と各電波の課題

○IoT利用環境における電波伝搬状況等にかかる課題：

山谷等の地形条件、草木の成長等の自然条件、及び、降雨・降雪等の気象条件により、文献やカタログに示された通りの電波伝搬特性が、得られない。

○検証で得られる電波の効果的な使用方法等の知見：

諸条件下での検証を通じて、地形×自然×気象の多様な条件下における適切な利用環境の知見を得た。

1) 大型降雨実験施設（防災科研つくば）での実験：台風時の豪雨（竜王町での実証）に対応、詳しくはP15参照。

内容：2019年9月5日に実施

- ・ SIGFOX、LoRaは発信機と受信機を設置し、諸条件下で検証
- ・ 携帯電話通信は、発信機を設置し近傍基地局で受信し、諸条件下で検証

諸条件：

- ・ 降雨強度：降雨無し、100mm/h、200mm/h、300mm/h
- ・ 雨の粒径も現実に近いものになるようなノズルを選択
- ・ 雨に加え、草木、地形、地面の濡れなども考慮して実験

結果：降雨環境における検証実験の結果、LPWA(Sigfox、LoRA)、携帯電話通信のいずれにおいても降雨強度との相関は見られなかった。



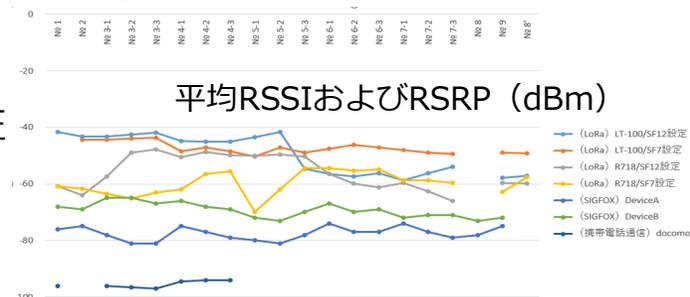
台風豪雨（竜王町）想定実験

・実験環境（右図）の通り、約30m間にセンサ（発信側）と受信機を設置し 降雨時の状況を再現する実験を実施



草木（笹の一種）でカバーして実験

・実験環境下（右図）にてセンサに近接して草木を設置し、自然環境である草木の伸張、着水による影響を実験写真では草木の陰にある木製の棚にセンサ設置



実験No	内容	GW	伝搬空間	センサ
No 1	降雨前	晴	晴	晴
No 2	降雨前	晴	晴+草木	晴
No 3-1	100mm	晴+テント	雨	晴+テント
No 3-2	200mm	晴+テント	雨	晴+テント
No 3-3	300mm	晴+テント	雨	晴+テント
No 4-1	100mm	晴+テント	雨	雨
No 4-2	200mm	晴+テント	雨	雨
No 4-3	300mm	晴+テント	雨	雨
No 5-1	100mm	雨	雨	晴+テント
No 5-2	200mm	雨	雨	晴+テント
No 5-3	300mm	雨	雨	晴+テント
No 6-1	100mm	雨	雨	雨
No 6-2	200mm	雨	雨	雨
No 6-3	300mm	雨	雨	雨
No 7-1	100mm	雨	雨+草木	雨
No 7-2	200mm	雨	雨+草木	雨
No 7-3	300mm	雨	雨+草木	雨
No 8	地面濡れた状態	晴	草木	晴
No 9	地面濡れた状態	晴	晴	晴
No 8'	地面濡れた状態	晴	草木	晴

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ ガイドライン作成に向けた整理

① 実際の電波伝搬特性と各電波の課題

2-1) 雪氷防災実験棟（防災科研新庄雪氷環境実験所）での実験：吹雪・着雪（標津町での実証）

内容：2019年9月25-26日

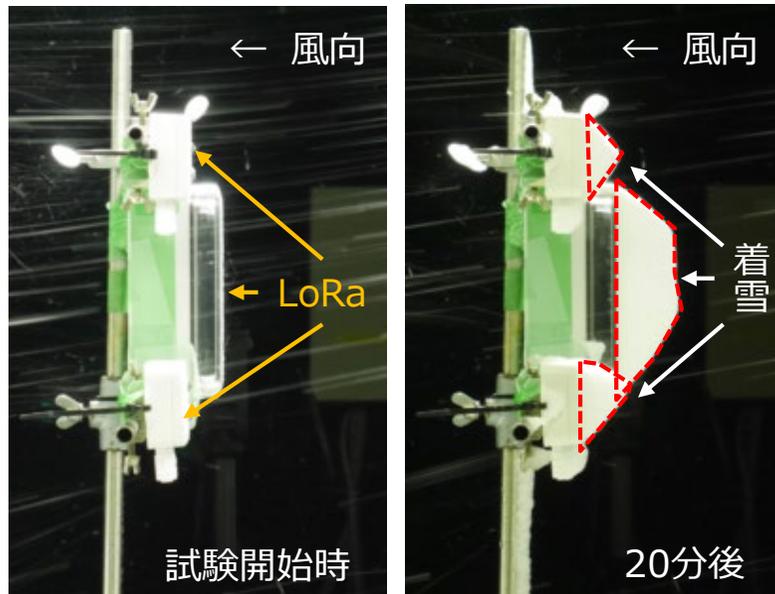
- ・ SIGFOX、LoRaは発信機と受信機を設置し、諸条件下で検証
- ・ 携帯電話通信は、発信機を設置し、近傍基地局で受信し、諸条件下で検証

諸条件：

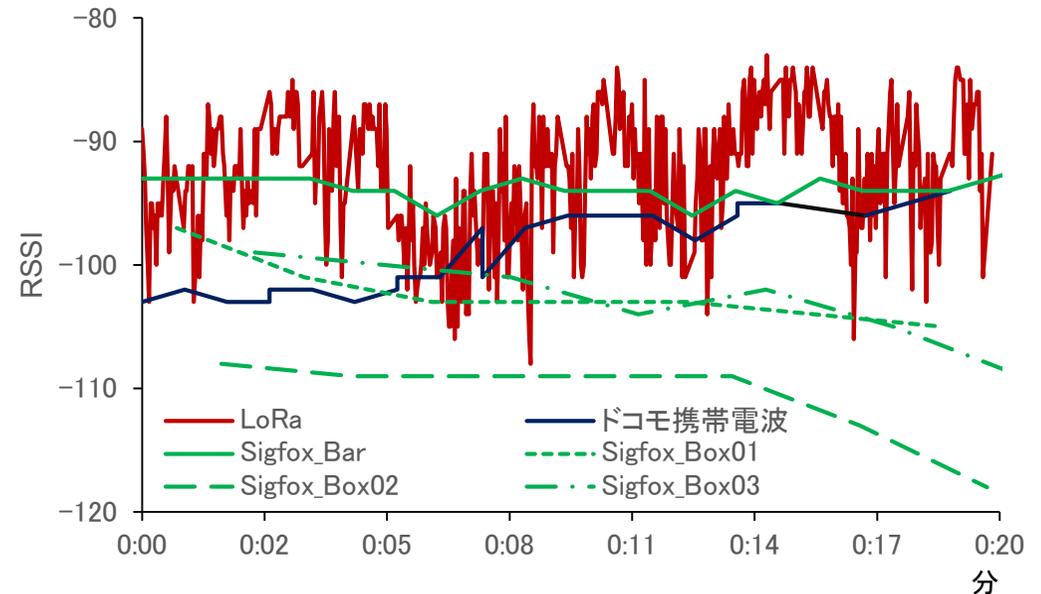
- ・ 施設内温度：2℃
- ・ 吹雪、着雪

結果：

- ・ 吹雪・着雪のみであれば、明らかな劣化はない



LoRa機器3台への着雪の様子



着雪試験中の電波伝搬の変化

試験開始から各機器の20分間のRSSI（信号受信強度）の変化を示した。着雪量は全ての機器で試験開始直後から増加し、試験中に定常状態に達した。

* LoRaについては3台分の計測結果を1つの連続データとして扱った

■ ガイドライン作成に向けた整理

① 実際の電波伝搬特性と各電波の課題

2-2) 雪氷防災実験棟（防災科研新庄雪氷環境実験所）での実験：豪雪・冠雪（小千谷市での実証）に対応（冠雪：機器に雪が積もり、機器が覆われる浅い積雪）、詳しくはP16参照。

内容：2019年9月26-27日

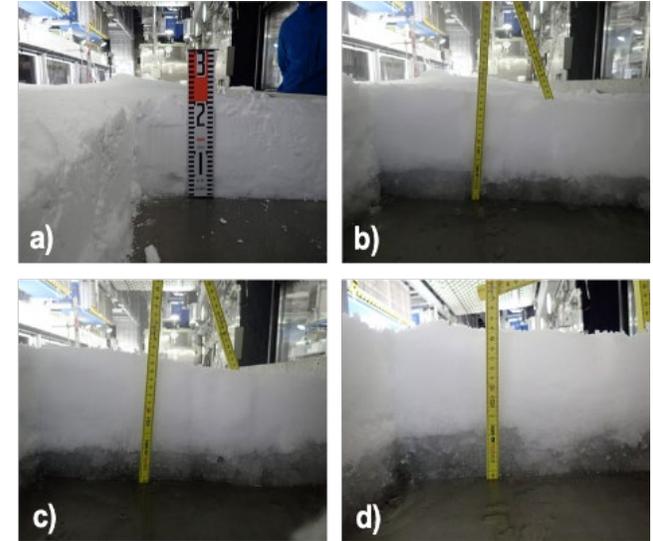
- ・ SIGFOX、LoRaは発信機と受信機を設置し、諸条件下で検証
- ・ 携帯電話通信は、発信機を設置し、近傍基地局で受信し、諸条件下で検証

諸条件：

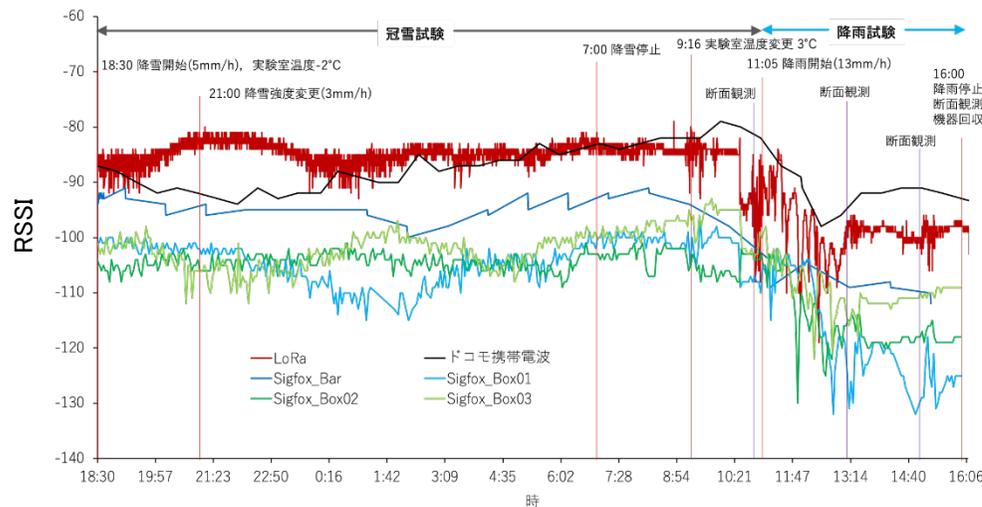
- ・ 施設内温度：-2℃（冠雪時）、3℃（降雨時）
- ・ 冠雪、及び冠雪後の降雨を再現

結果：

- ・ 冠雪のみであれば明らかな劣化はないが、冠雪後の降雨の場合は、冠雪中の含水率増加による電波強度低下の影響が示唆されるという結果が得られた。
- ・ この特徴に留意（冠雪、積雪による埋没を避ける等）してセンサおよびゲートウェイを設置することが重要であるということが言える。



降雨試験時の積雪断面の様子
b)~d)（降雨開始後）では、底面から5cm程度の高さまでの滞水層が確認できる



← 冠雪・降雨試験中の電波伝搬の変化の様子
試験開始から各機器のRSSI（信号受信強度）の変化を示した。
9月26日18:30から翌27日7時まで人工降雪により各機器を埋没させ、
11:05から降雨試験を行なった。

* LoRaについては3台分の計測結果を1つの連続データとして扱った

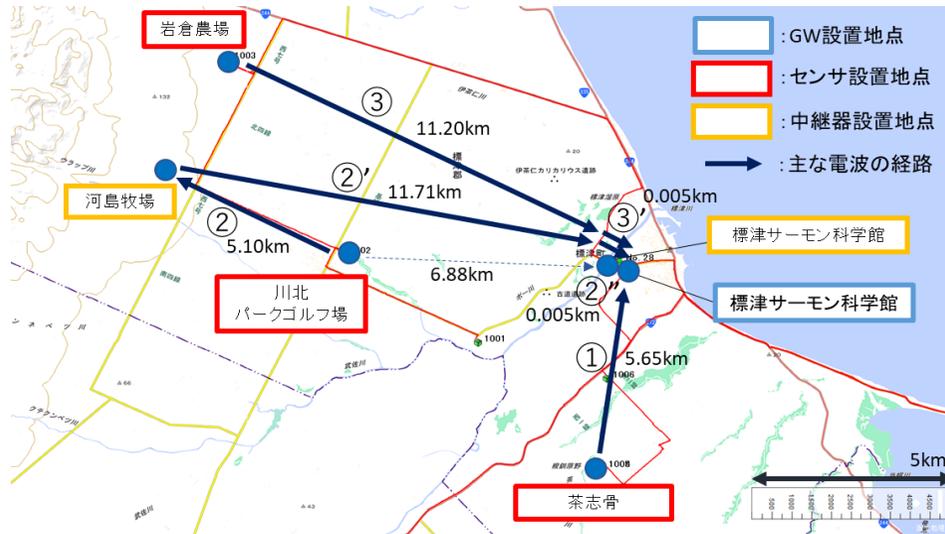
■ ガイドライン作成に向けた整理

② 機器の効率的配置の知見

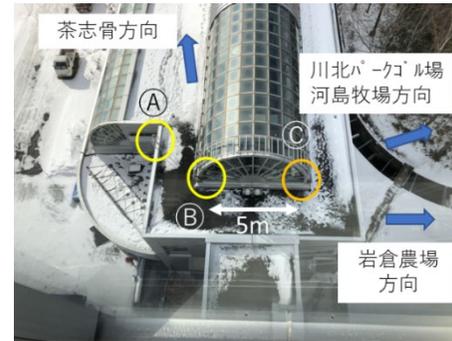
標津町での実証試験（吹雪・着雪の課題）工夫例

2019年12月に、LoRaゲートウェイをサーモン科学館屋上に設置し、発信機を岩倉農場、川北パークゴルフ場、茶志骨の3か所に設置したが、通信が非常に不安定であり、川北パークゴルフ場とは全く通信ができない状態であった。

そこで、地形や見通し条件を優先して、右図に示すように、1月26日にサーモン科学館の屋上の◎の位置に中継器を設置（◎から◎の距離5m）し、さらに、川北パークゴルフ場用に、サーモン科学館から見ると川北パークゴルフ場の向こう側（距離11.71km）の河島牧場の中継器を設置した。この対策により、3地点において、見通し条件が改善され、RSSIは低いものの主に以下の経路で安定した通信が可能となった。



電波伝搬試験用装置の設置位置（LoRa用のみ中継器設置）と主な電波の経路
（地理院地図を加工して作成）



標津サーモン科学館屋上へのLoRa中継器設置

（◎移設前ゲートウェイ位置、◎移設後ゲートウェイ位置、◎中継器位置）



電波伝搬への直接の影響は確認できなかったが、左下のように、新庄雪氷環境実験所で実施した着雪実験の形状通りの着雪が、2020年1月25日から26日にかけての吹雪により生成した。26日に気温が上昇して落雪したため、この上に冠雪して融雪が生じ、電波伝搬に影響をもたらすまでには至らなかった。

また、右下のように、茶志骨の1月31日の降雪後の融雪によって積雪深センサの金属部分につららが発生し、前が塞がれてしまうことでレーザー光での積雪測定ができなくなり、つららが小さくなるまでの数時間が欠測となった。融雪水排水のための形状や材質の工夫により、ある程度は防げるものと思われる。



2020年1月25日から26日にかけての吹雪によるLoRaのGWへの着雪（左）と2020年1月31日の降雪後の融雪による積雪深センサでのつららの生成（右）

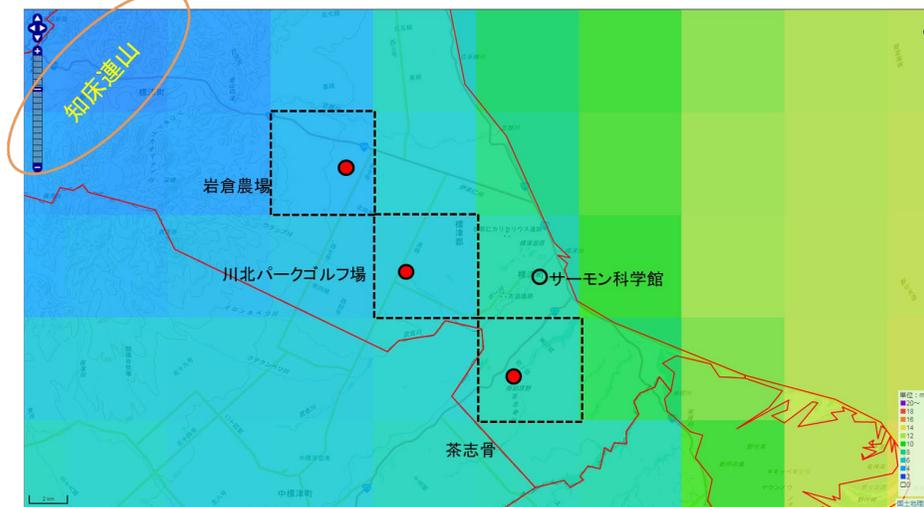
■ ガイドライン作成に向けた整理

②機器の効率的配置上の知見

標津町での実証試験（吹雪・着雪の課題）工夫例

IoTセンサは、吹雪の被害想定箇所や吹雪予測を行うために必要な気象特性、および電波の状況等を考慮して、北東から南西方向に連なる知床連山から垂直の北西から南東方向に3地点並べるように配置した。

また、最終的なアウトプットとなる5kmメッシュの吹雪予測情報の精度を向上させるため、IoTセンサの設置箇所が気象庁MSM（吹雪予測情報も同様）5kmメッシュにひとつずつ配置されて、各箇所の観測値がそのメッシュの代表値となるように配置した。



標津町の3観測地点と気象庁MSM（吹雪情報）5kmのメッシュ

小千谷市での実証試験（豪雪・冠雪の課題）工夫例

小千谷市市街地は、Sigfoxのサービスエリアであるが、LoRaとの比較のため、下図に示すように、市内の中心部に位置し比較の見通しがよい市役所の屋上にGWのアンテナを設置した。センサは、電柱や壁に設置したが、いずれも市役所方向にセンサが向いて、設置周辺に遮蔽ができないように、また、雪に埋没しないように設置した。



見通しのよい小千谷市役所屋上に
SigfoxのGWアンテナを設置



市役所方向

上：平沢新田、桜町のような電柱への設置
(写真は桜町)



小千谷市勤労青少年ホーム屋上
小千谷市役所GW方面に見通しの
良い場所にセンサ（発信器）設置

Sigfoxのゲートウェイ、センサ（発信機）設置の工夫

■ ガイドライン作成に向けた整理

② 機器の効率的配置、設定上の知見

竜王町での実証試験（豪雨・水害の課題）工夫例

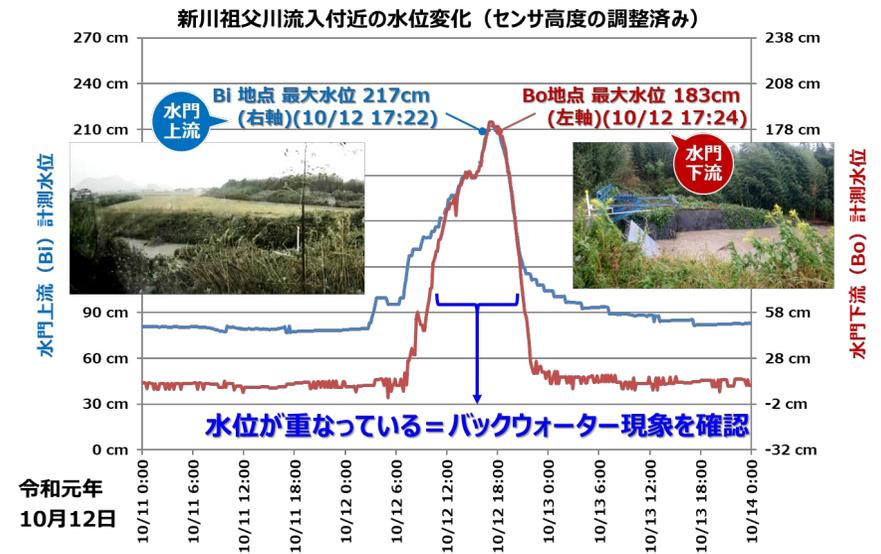
豪雨時に外水側（日野川、祖父川）の水位が上昇することで、通常起こらない外水側から内水側（小川）への水の逆流現象であるバックウォーター現象が発生し浸水に繋がっていることから、外水側と内水側の水位の関係性を確認できるようにした。

豪雨時の主流河川から支流への逆流・バックウォーター現象の把握

- 新川祖父川流入付近の水門フラップ前後へのIoTセンサの設置による水位計測を実施



令和元年台風19号襲来時の水位計測状況 B地点（新川祖父川流入付近）



【まとめ】

センサの効率的な配置は、センシングから得られる情報が課題解決に資することが肝要であるので、机上検討で決定した候補地にまずは設置して、実証を通じて、適宜必要に応じて設置個所の見直しを図ることが大切である。センサの設置に関しては、指向性も考慮してアンテナを基地局または仮設のゲートウェイ（GW）に向けておくことが効率的である。また、距離よりも見通しを優先した設置（例えば中継器の使用）が有効であることが実証された。

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ ガイドライン作成に向けた整理

② 設定、セキュリティ上の知見

IoTセキュリティガイドライン ver1.0（IoT推進コンソーシアム、総務省、経済産業省）のうち、本実証に最も関わりのある【設計】、【構築・接続】において、本実証に参考となる指針について、以下の対策（→赤字部分）を実施した。システム構成図の「センサから基地局（GW）」、「基地局（GW）からクラウド」、「クラウドから自治体等のサービスユーザー」が、ネットワーク上の接続部分である。

【設計】指針3 守るべきものを守る設計を考える

- つながる相手に迷惑をかけない設計をする
- 不特定の相手とつながられても安全が確保できる設計をする
- 安全安心を実現する設計の評価・検証を行う

→ ・ IoTデータ収集システムとその他のシステムとの分離
（クラウドの利用等）

・ 暗号化通信の利用

【構築・接続】指針4：ネットワーク上での対策を考える

- 機能及び用途に応じて適切にネットワーク接続する。
- 初期設定に留意する。
- 認証機能を導入する。

→ ・ 暗号化通信の利用

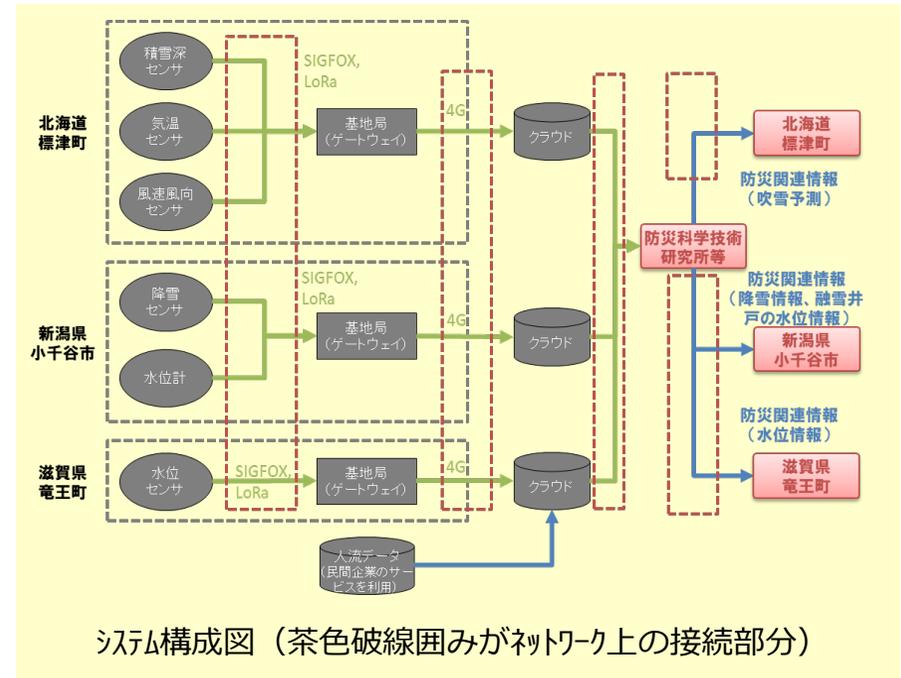
・ 利用者のアカウント認証などの認証システムの導入

【構築・接続】指針5：安全安心な状態を維持し、情報発信・共有を行う

- 出荷・リリース後も安全安心な状態を維持する
- 出荷・リリース後もIoTリスクを把握し、関係者に守ってもらいたいことを伝える
- IoTシステム・サービスにおける関係者の役割を認識する
- 脆弱な機器を把握し、適切に注意喚起を行う

→ ・ IoT機器の定期的な点検・確認、及び関係者への情報共有

- ・ 点検者、システム管理者などの役割の事前確認
- ・ 利用マニュアル等による利用方法、注意事項などの周知の徹底



システム構成図（茶色破線囲みがネットワーク上の接続部分）

Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ ガイドライン作成に向けた整理

② 設定、セキュリティ上の知見

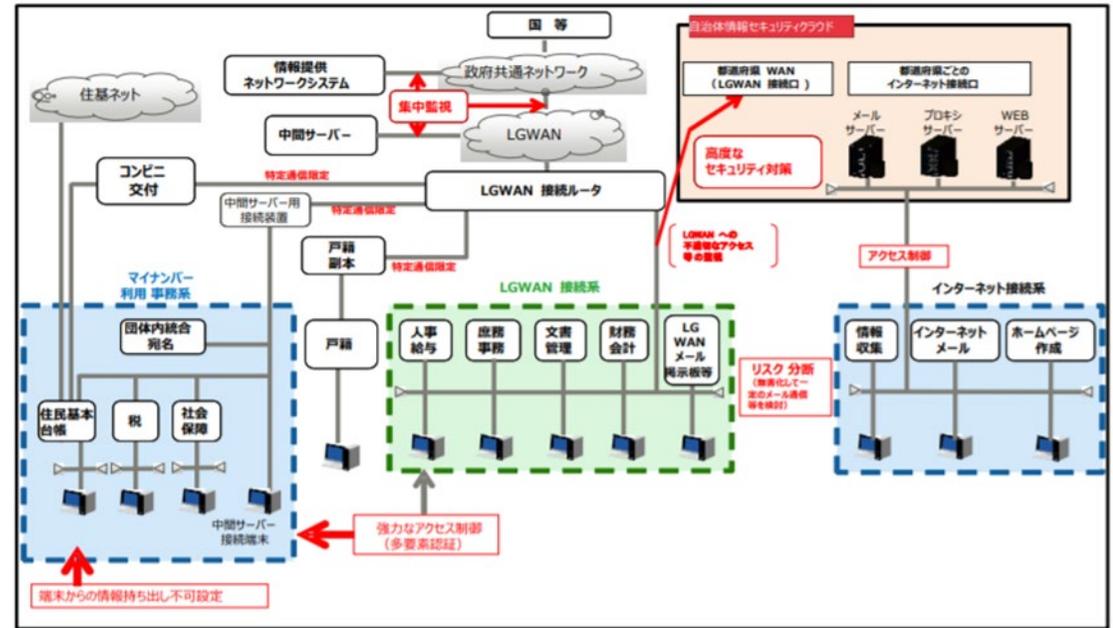
データの取り扱いには厳格な情報セキュリティ対策が求められている。つまり、総務省より「地方公共団体における情報セキュリティポリシーに関するガイドライン（平成30年9月版）」において示されている「三層の構え」を本ガイドラインにおいても自治体を守るべきであることを示す。

一方で、本実証で得られた知見として、地方自治体が積極的にデータを利活用することは、「官民データ活用推進基本法」（2016年12月14日施行）においても求められているように、データ利活用とセキュリティについて自治体職員が運用しやすい新たなルールづくりも必要であることが判った。

【三層の構え】

- ① マイナンバー利用事務系では、端末からの情報持ち出し不可設定等を図り、住民情報流出を徹底して防止すること
- ② マイナンバーによる情報連携に活用されるLGWAN環境のセキュリティ確保に資するため、LGWAN接続系とインターネット接続系を分割すること
- ③ 都道府県と市区町村が協力して、自治体情報セキュリティクラウドを構築し、高度な情報セキュリティ対策を講じること

との三層からなる対策を推進している。右図は「地方公共団体における情報セキュリティポリシーに関するガイドライン」において示された自治体情報システム例であるが、実運用上において「無害化処理」、「持ち出し不可設定」や「2要素認証」等が求められているので、職員によるデータ利活用に対してハードルが高くなっていることも事実である。このポリシーを遵守し、かつ、データ流通を推進させるルールづくりが肝要である。



■ ガイドライン作成に向けた整理

③コスト(イニシャルコスト、ランニングコスト)

③-1. 本実証実験に要した通信に掛かる費用

本実証実験において、SIGFOXを利用する実験機器は電波発信機能に加えて水位を計測するセンサ機能を有しており、電波伝搬特性の検証に加えて水位の計測を行った。またLoRaを利用する機器とGWは電波計測に特化して東大が製作した実験用の機器であり、携帯電話に関しては既存の発信機や公衆の網GWを利用し電波伝搬特性の検証のみを行った。ここでは、直接比較するため、電波伝搬の検証部分だけの費用を整理した。そのため、SIGFOXだけで実施した情報生成、可視化の費用は含まれていない。

※水位センサは、SIGFOX、LoRa、携帯電話通信それぞれで実用化されているため、3種類の電波の比較対象として竜王町の水位センサを選定し、以下に整理した。
 ※小千谷市の降雪センサ、標津町の積雪深センサは、携帯電話通信のみが実用化されているため、実証コストについて参考資料「Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業ガイドライン別冊解説書」に示した。

	SIGFOX	LoRa	携帯電話
イニシャルコスト			
・電波発信機	72千円/台 (水位センサを含む)	約1.4千円/台	既存発信機を使用
・センサ		なし	なし
・GW	公衆網の為無料	約20千円/台	公衆網の為無料
ランニングコスト			
・通信費	約100円/月/台	約2千円/月/台	数百円～数千円/月/台
・GW利用費	公衆網の為無料	自作の為無料	公衆網の為無料
特記事項			
本実証における特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・電波発信機は、発信機能に加えて水位センサを搭載した製品を購入した ・GWは既設のSigfox基地局を利用した 	<ul style="list-style-type: none"> ・電波発信機は、発信機能のみを有したものを自作した ・GWは自作したのを用い、GWから先の通信は携帯電話回線を利用した 	<ul style="list-style-type: none"> ・電波発信機は、発信機能のみを有した既存品を用いた ・GWは既設の携帯基地局を利用した

ガイドライン作成に向けた整理

③コスト(インシヤルコスト、ランニングコスト)

③-2.商用化ベースでのコスト例(本事業)

	SIGFOX	LoRa	携帯電話
製品・サービス提供社	積水樹脂(株)／超音波式	危機管理型／電波式	危機管理型／超音波式・水圧式
・計測範囲	0.6m～5m	0.5m～20m	0.5m～30m
・電源	化学電池式	太陽電池式	太陽電池式、化学電池式
インシヤルコスト			
・センサ	28万円/台	100万(カタログ)(GW機器込み)	50万円～100万円/台
・GW	公衆網の為無料	公衆網の為無料 (既存の有線Ethernet想定)	公衆網の為無料
・設置費用	直接工事費 約10万円/台	60万円/台	100万円/台
ランニングコスト			
・センサメンテナンス費	5.5万円/年/台※1	5年間不要とする設計	50万円/年/台
・通信費	約100円/月/台	約300円/月/台	1,800円/月/台
・GW	公衆網の為無料 (GWレンタル時約3千円/月※2)	公衆網の為無料 (既存の有線Ethernet想定)	公衆網の為無料
・クラウド利用料	1,000円/月※3	設置場所による※5	950円/月～※6
・レンタルサーバ費	約2千円/月※4	国土交通省サーバ利用で無料	国土交通省サーバ利用で無料

※1: 水害リスク期間の6ヶ月使用で電池交換1回の場合

※2: 公衆網電波が弱い場合

※3: 可視化のみのWebアプリでの水位情報サービス(可視化)維持費

※4: 自治体サーバ以外に別途サーバ設定の場合

※5: 自治体利用者内で案分(設置場所による:950円/月～)

※6: 国土交通省「川の防災情報」サイト(可視化)使用料

■ ガイドライン作成に向けた整理

④ ①～③を踏まえた上で考えられる適切なIoT利用環境整備のあり方及び必要な政策面での支援

1) 守るべきルール

IoTを実装し普及する上で機器、通信、サービスには厳格なルールが求められる。何故ならば、機器においてはその安全性が担保されないとデータ収集という本源的な目的を逸脱することになるばかりか、安全面に配慮して製品化が成されないと火災の原因となりうる。また、通信においては、限りある電波資源を有効に活用するには、割り当てられた帯域を利用することで他の帯域でのサービスに悪影響を与えないことが求められる。加えて、IoTは様々な機器等がネットワーク上で繋がることにより課題解決に資するサービスを実現できるが、例えばハッカーなどによる被害や、データとして流通する個人情報などにも配慮する必要がある。

・電波法、・電波免許申請、・電気通信事業法、・技術基準適合証明、・工事設計認証、・製造物責任（PL）、・不正アクセス禁止法、・刑法：電磁的記録不正作出および供用罪、不正指令電磁的記録作成・取得等罪、電子計算機損壊等業務妨害罪等、・個人情報保護法

2) 緩和すべきルール

気象災害軽減において、従来は国直轄など上位レベルからの管理に力点が置かれていたことにより、測定・観測という点で、高性能・高規格が求められていた。このような測定・観測機器類は大型であり堅牢であったが故に道路や橋梁等に設置するには構造物に求められる基準が整備されてきた。IoTの普及に伴い、センサの小型化、低価格化が進み、これまでの設置基準ではオーバースペックであり、それが、設置までの時間を要し、また、設置コストの高止まりを招いている。これらのルールを改正することで地位課題解決に資するIoTの普及展開を加速することが大切である。

気象業務法に関わる部分の例として、低コストのIoTセンサを大量に配置してメッシュ情報を生成するケースなどでは、数を多くすることによる異常値のチェックや、近隣のアメダス等との比較、あるいは気象庁検定の限定的な付与等により、センサを用いて生成したメッシュ情報の質を担保するような方法も選択できるようになれば、IoTセンサの普及と気象に関わる情報の稠密化が促進されると思われる。

・河川砂防技術基準調査編、・機器設置に係る諸手続き（市町村、都道府県）、・気象業務法

3) 新たに作るべきルール

現状、様々なIoTサービスが提供されているが、それが個別最適であってはならない。よって、協調領域としてIoTサービスに係るガイドラインを示すことで、競争領域における低価格化などが実現できる。また、IoTにおいては、システムのインターオペラビリティ（相互運用性）の確保と流通するデータフォーマットに対するガイドラインを提供することも大切である。

・市町村における課題解決に必要なIoTサービス（機器、通信等）のガイドライン

・オープンデータにおいて、データ流通を促進するためのデータフォーマット基準

※参考例：「農業情報創成・流通促進戦略に係る個別ガイドライン」（農林水産省）における「農業情報のデータ交換のインタフェースに関する個別ガイドライン」など

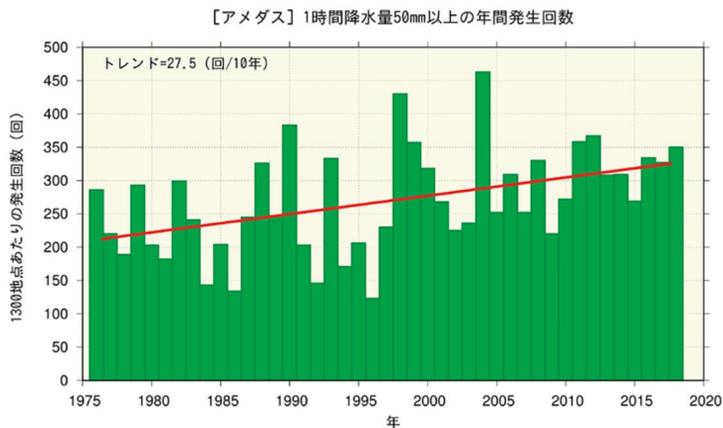
Society5.0 社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

■ 基本情報

実証事業に関する分野・業界に関する基本情報、現状のサービスモデルとその課題等

国内の自然災害の発生状況

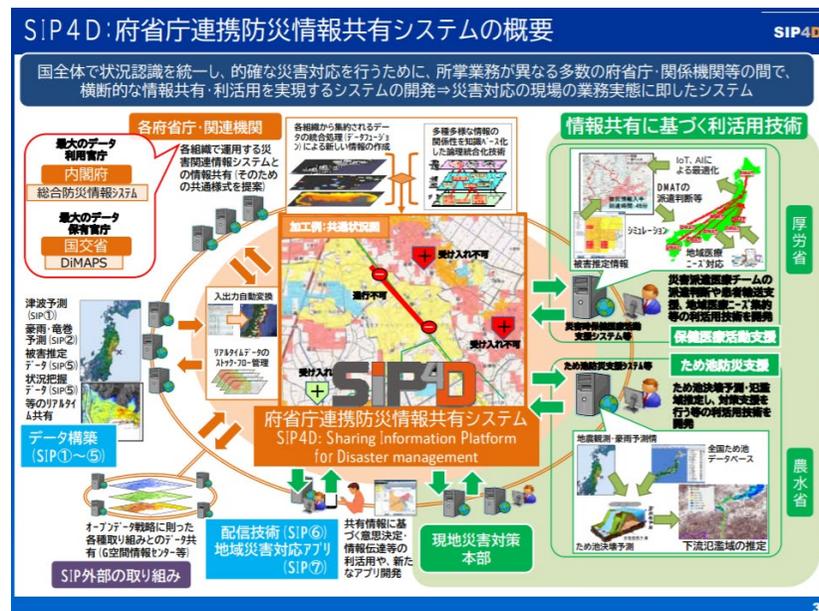
- ✓ 日本は、諸外国に比べて、大雨、大雪、洪水、土砂災害、地震、津波などの自然災害が発生しやすい環境にある。
- ✓ 内閣府によれば、1984年から2013年における世界の災害被害額のうち、17.5%は日本で発生した災害によるものであった。
- ✓ 一例として、日本国内における短時間強雨の年間発生回数は増加傾向にあり、甚大な被害をもたらすことも多い。



出所) 内閣府

減災に向けた取組状況 (現状)

- ✓ 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) にて、テーマのひとつである、「レジリエントな防災・減災機能の強化」(以下、SIP防災と略す)は、災害における予測・予防・対応に関わる災害情報の府省間での共有を目指している(下図)。



現状の課題

- ✓ 各機関間でのデータ連携は進んでいるものの、基礎自治体(市町村)レベルにおけるより身近なデータの情報化と情報伝達が求められている。