

# より良い雪国を創る新たな仕組みづくり ～防災科学技術研究所 気象災害軽減イノベーションセンター長岡サテライトの挑戦～ キーワード：IoT、イノベーション、新技術、冬期道路管理、消雪パイプ、路面温度予測、屋根雪 諸橋 和行<sup>※1</sup> 山口 悟<sup>※2</sup>

## 1. はじめに

防災科学技術研究所（以下、防災科研）は、2015 年度より『「攻め」の防災に向けた気象災害の能動的軽減を実現するイノベーションハブ』（以下、気象ハブ）というプロジェクトに着手し、1 年間のフィージビリティスタディを経て、2016 年度より本格的に始動させた。

これは、国立研究開発法人の機能強化を目的とした科学技術振興機構のイノベーションハブ構築支援事業（図 1）の採択を受けて実施する事業であり、防災科研の他に、物質・材料研究機構、理化学研究所、宇宙航空研究開発機構の計 4 つの国立研究開発法人の事業が採択され、各専門分野に基づくイノベーションハブが構築されている。

気象ハブは、気象災害の早期予測技術をコアとして、次世代センシング技術、IoT 情報技術、リスクコミュニケーションを取り入れ、各ステークホルダーとの密接な連携により地域特性・利用者ニーズに応じた気象災害予測情報システムの社会実装を目指すものである（図 2）。

2016 年 4 月、防災科研はその実働組織として、気象災害軽減イノベーションセンター（図 3）を防災科研内に設置するとともに、新潟県長岡市にある防災科研雪氷防災研究センター（以下、雪氷研）を拠点として、気象災害軽減イノベーションセンター長岡サテライト（以下、長岡サテライト）を設置した。

長岡サテライトでは、気象災害軽減イノベーションセンターが掲げる 4 つのプロジェクトのうち、「IoT を活用した地域防災システムの開発」を担うための新しい実施体制を組織し、イノベーションの創出に向けて様々な挑戦を行ってきた。本稿では、長岡サテライトのこれまでの活動について報告する。



図 2 気象ハブの事業イメージ



図 3 気象災害軽減イノベーションセンター

## 2. 長岡サテライトの概要

### 2-1 長岡サテライトの目的

長岡サテライトは、防災科研本部の気象災害軽減イノベーションセンターの 1 つの機能（プロジェクト組織）として、「IoT を活用した地域防災システムの開発」をテーマに、「①長岡を拠点にイノベーションを創出するハブとなること」、「②地域に密着した社会実装の具体化を先導すること」を目的としている。

スタート時点での基本的な認識は、「ラストワンマイル」という表現に集約される（図 4）。雪氷研には、研究者・専門家のスタッフが勤務しており、雪に関する膨大な研究成果や技術、実践的な知見、国際的なネットワーク等を有している。しかしそれが雪国特有の問題の解決や地域防災力の向上に対して確実に寄与しているのかと



図1 イノベーションハブ構築支援事業

と決して十分とは言えない。例えば大雪時に生ずる交通障害や建物の損壊、雪による犠牲者の発生（特に除雪作業中の事故）といった代表的な雪害問題は依然として大きく存在しており、これらの課題解決に対してどれだけコミットしているかを客観的に示すことは難しい。このような状況を「ラストワンマイル」と表現している。長岡サテライトはこのラストワンマイルをつなぐ新しい存在を目指すこととした。さらに、雪氷研では、業務における社会貢献や社会実装が強く求められるとともに、研究予算を独自に確保する努力が要求されており、長岡サテライトはそのための有効手段としても機能するものである（図5）。

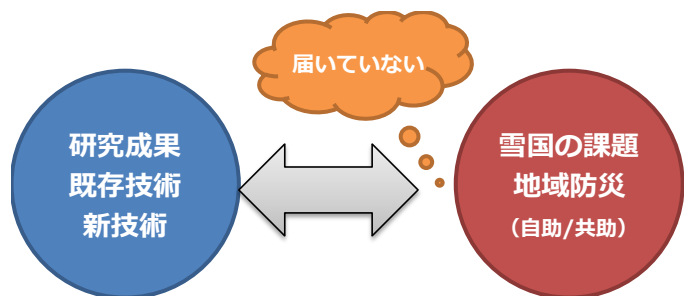


図4 長岡サテライトのラストワンマイル

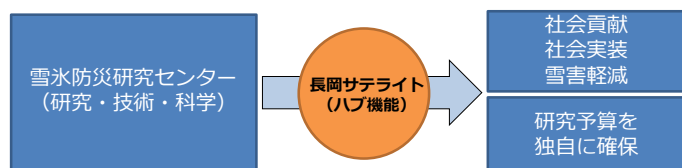


図5 雪氷研における長岡サテライトの意義

## 2-2 長岡サテライトの運営

長岡サテライトは、2-1の目的を実現するため、運営方針を以下のように定めて活動してきた。

- ①防災科研のコア技術と知見を活かした展開
- ②多様な人材による協働型の実施体制
- ③フェイルファストの方針に基づく実証実験の遂行
- ④社会実装へのコミット

イノベーションを創出するためには、特に方針②と方針③が重要となる。また、この方針③と方針④については、一見すると相反する要素を含んでいるが、この2つの運営方針の両立こそ、ハブ機能の構築には不可欠であったといえる（図6）。

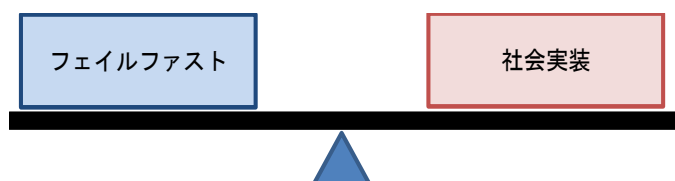


図6 フェイルファストと社会実装のバランス

長岡サテライトの運営に際しては、気象災害軽減イノベーションセンター定例会議（つくば本所にて開催、雪氷防とはテレビ会議）に合わせて、コアメンバーによる定例会議を1～2週間に1回の頻度で開催している。また、構成メンバーを登録したメーリングリスト及びSNSを開設・活用し、日頃の意見交換や事務連絡、日程調整等を行っている（図7）。

長岡サテライトの特徴は、ワーキンググループ（WG）の存在である。各年度において、地域防災に関する課題に向き合いながら、気象災害軽減に資する地域防災システムを開発・検証するための実証実験を遂行しており、そのためのWGを2016年度は6つ、2017年度及び2018年度は5つ、2019年度は4つ設置している。

各WGにおいては、実証実験の目的及び実施内容に応じてメンバーを構成し、それぞれ独自に事業を進めており、コアメンバーによる定例会議の場で進捗報告及び意見交換を行っている。さらに、実証実験に関するニーズや意見を幅広く把握するための拡大ワークショップや成果報告会等も実施している。

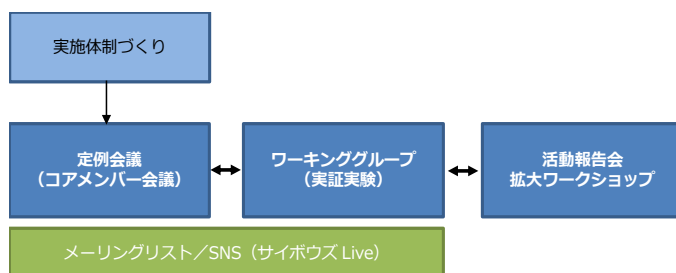


図7 長岡サテライトの運営構造

## 2-3 長岡サテライトの実施体制

長岡サテライトの中核となるコアメンバーは、雪氷研の研究員、中越防災安全推進機構の職員及び大学や民間企業の協力者（各分野の専門家や技術者）等で構成される。ここにコアメンバーをサポートするサブメンバー、大学・高専・行政等を含む連携機関を加えて、長岡サテライトの実施体制を構築している（図8）。適宜メンバーを補充しつつも、あえて1年度単位でリセットをかけ、毎年度当初に構成メンバーを見直している。

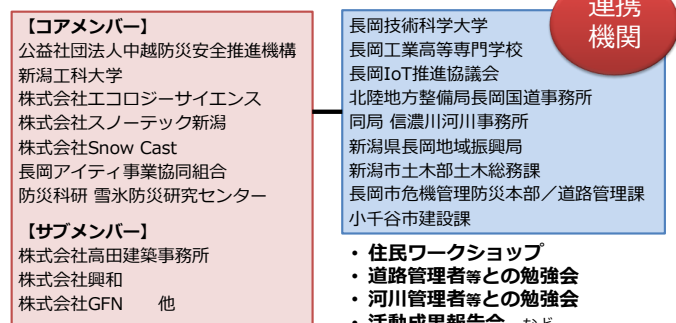


図8 長岡サテライトの実施体制（2019年度時点）



### 3. 長岡サテライトの実証実験

#### 3-1 事業の変遷

長岡サテライトがこれまで取り組んできた実証実験の主な事業の変遷を整理したものが図 9 である。フェイルファストの方針を重視し、「まずやってみる」「やってみなければわからない」という考えで取り組んできたため、単年度で終了した事業もあるが、大半は貴重な経験と成果を得ることとなり、毎年改良と進化を重ねて継続されている。

現在、特に力を入れている事業が「詳細降雪・気象情報提供システム」、「路面温度予測配信システム」、「屋根雪荷重計測システム」である。

プロジェクト	H27	H28	H29	H30	H31
雪荷重					
安価なリアルタイム積雪重量計	→				
屋根雪の荷重計測システム		→	→	→	→
新潟工科大学との共同研究			→	→	→
消雪パイプ					
詳細降雪・気象情報提供システム		→	→	→	→
井戸水位センサー		→	→	→	→
路面管理					
スマホアプリによる冬期路面管理	→	→	→	→	→
路面温度予測配信システム		→	→	→	→
除雪車両のリアルタイムデータ				→	→
統合的な冬期道路管理支援システム				→	→
河川水位					
安価なリアルタイム河川水位計		→	→	→	→
セコム財団研究助成 水害リスク学習				→	→
その他					
スマートスコップ	→	→	→	→	→
避難時安全確認システム	→	→	→	→	→
レーザー距離計による積雪深測定		→	→	→	→

図 9 長岡サテライトの事業変遷

#### 3-2 詳細降雪・気象情報提供システム

雪国の道路の消雪に使われている消雪パイプの稼働制御は、「降雪センサー」という降雪の有無や降雪強度などの降雪情報を感知するセンサーによって行われている。しかし現状では、各センサーが取得する情報は、センサーが接続されている 1 つの消雪パイプの稼働（地下水を汲み上げるポンプの運動作）にしか利用されていない。そこで、この降雪センサーに通信機能を付加し、センサーが取得した情報をクラウド上に一括集約することで、詳細な降雪分布を表示・把握するシステムを開発することとした。これが詳細降雪・気象情報提供システムである。株式会社スノーテック新潟（降雪センサー）及び株式会社 KCS（クラウドデータ表示システム）との共同開発である。

2018 年度（H30）冬期の時点で、長岡市内 28 箇所の降雪センサーから情報を集約し、約 25×30km 範囲内の降雪量や気温の面分布が実測でほぼリアルタイムに把握できるようになっている（図 11、図 12）。また、各消雪パイプの稼働状況、気温、パルス数（降雪強度）を個別に時系列でグラフ表示することができる（図 13）。

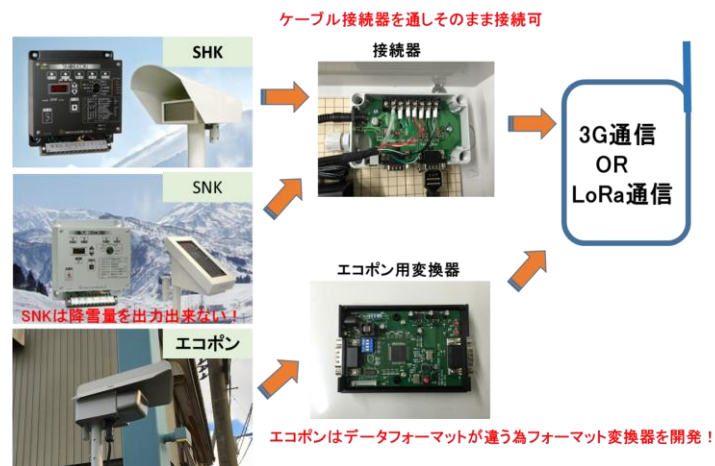


図 10 降雪センサーからのデータ取得

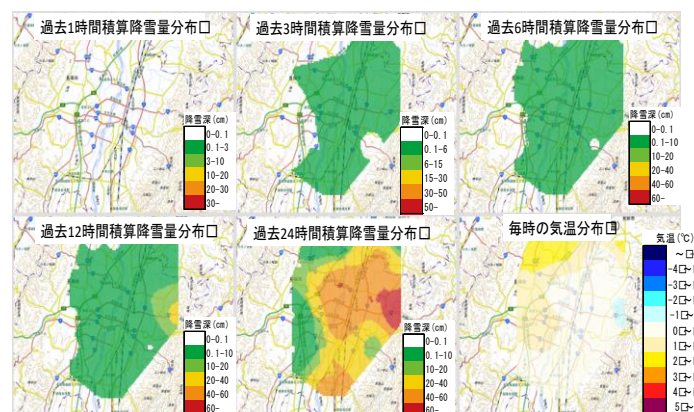


図 11 提供される面的分布情報

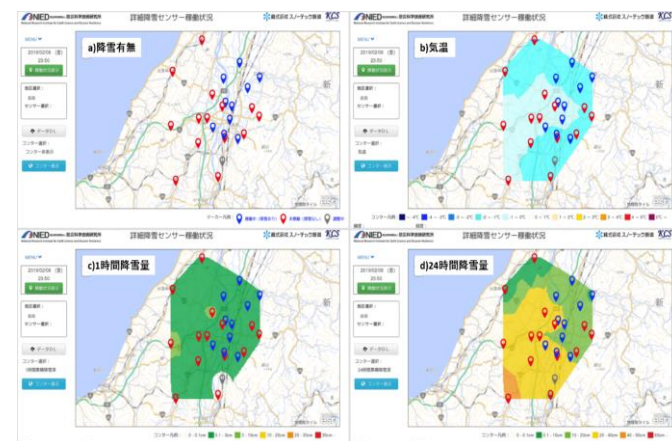


図 12 提供される面的分布情報（表示画面）

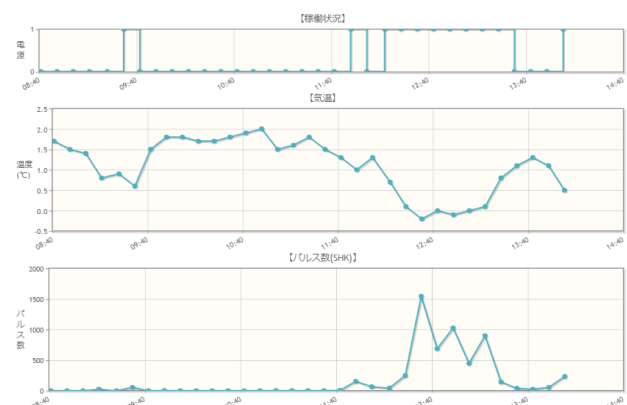


図 13 各消雪パイプの詳細情報

### 3-3 路面温度予測配信システム

路面温度予測配信システムは、雪氷研が開発した道路雪氷予測モデルを用い、地形や道路などの属性データや大気諸条件（気温や放射等の予測値）を入力値として与えて路面温度を計算・予測するシステムである。株式会社スノーキャストとの共同開発であり、スノーキャストを通じて路面温度予測情報が配信される。

道路雪氷予測モデルの計算精度は、与える大気諸条件に大きく依存し、入力値として観測値を用いた場合の結果と実測値はよく一致するものの、予測値を用いた場合は安定した精度が確保できないという課題があり、2016年度はその改善に取り組んだ。2017年度はさらなるソフトウェアの改良を行うとともに、新潟県長岡地域振興局管内における凍結防止剤重点ラインの一部エリア（国道351号新榎トンネル付近及び信濃川長生橋付近）を対象に、午前4時と午前9時の時点における対象路線の路面温度予測分布図を試験配信した。

2018年度には、長岡市内4路線、新潟市内8路線にまで対象を拡大するとともに、19時から翌日18時までの路面温度予測を時系列推移で提供するように改良し、冬期間毎日15時に新潟県及び新潟市の道路管理者にメール配信を行った（図14、図15）。

現在の課題は路面温度予測の精度検証である。本システムで配信した情報が実際の現場の状況をどの程度予測できていたのかという検証が極めて重要であり、2018年度より株式会社スノーテック新潟の協力を得て、実測データを蓄積しているところである（図16）。今後は凍結防止剤散布車の出動判断に活用されることを目指し、路面温度予測から路面凍結予測へと進化させるための研究を進める。



図16 路面温度計の設置

### 3-4 屋根雪荷重計測システム

屋根雪荷重計測システムは、屋根や梁のたわみや歪みとして現れる屋根雪荷重による建築物への負荷を、IoT技術を活用して「見える化」（客観化）することにより、木造建築物の雪による倒壊・損壊を未然に防ぐシステムである。実験棟の設計・建設には株式会社高田建築事務所の協力を得ており、2017年度以降は新潟工科大学との共同研究として取り組んでいる。

2016年度は、単管と木材の組み合わせた簡易な実験棟を設置し、屋根の中央部の垂木に接した変位センサーからのデータを収集・解析した。2017年度は一間四方の木造屋根雪実験棟を設置し（図17）、5本の垂木のうち2本に歪みセンサー及びたわみセンサーを取り付け、クラウドで測定データを確認できるようにした。

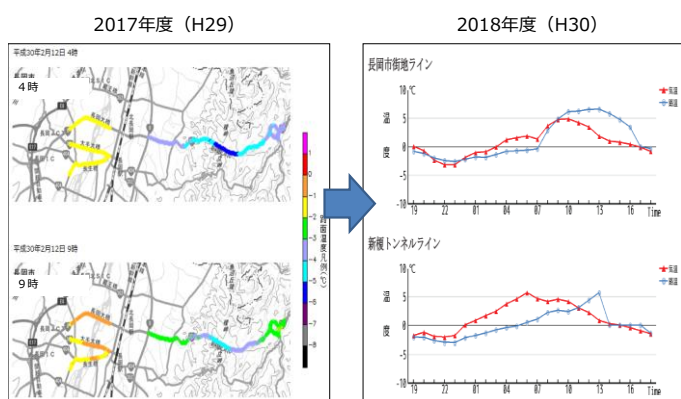


図14 配信情報の改良

#### <予測対象>

・気温、路面温度

#### <配信時間>

・15時に発表し当日19時から翌日18時までの予測値を表示

#### <配信方法>

・PDFファイル をメールに添付して自動配信

#### <配信区間>

・長岡市内の4路線  
・新潟市内の8路線

#### <配信期間>

・平成30年1月4日～3月22日

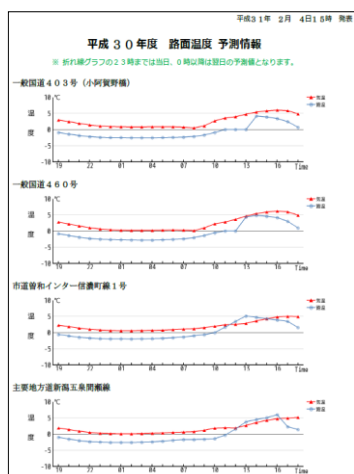


図15 路面温度予測配信システムの内容（2018年度）

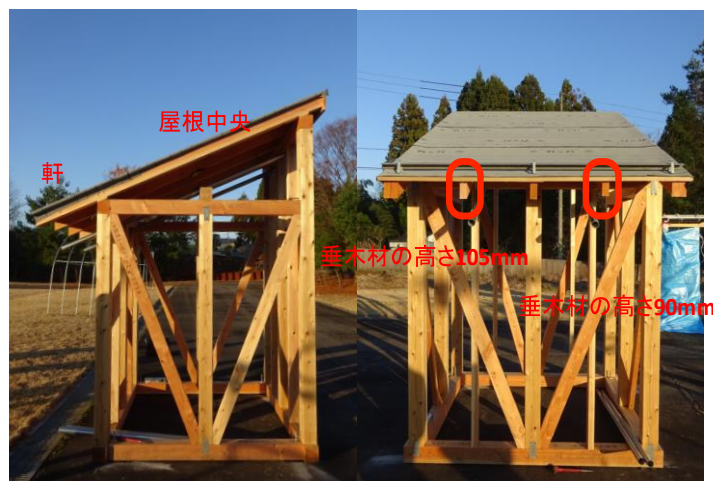


図17 屋根雪試験棟（2017年度）



2018年度は、雪氷研の露場に新たに屋根雪実験棟（観測用建物モデル）を設置した（図18）。実験棟の大きさは張間 3.64m×桁行 1.82m、軒高さは約 2mである。屋根形状は切妻のアスファルトルーフィング仕上げとし、勾配を 3/10 とした。軒先には雪止めと雨どいを設けて、妻面を南北方向に配置した。西側が主に風上となる。

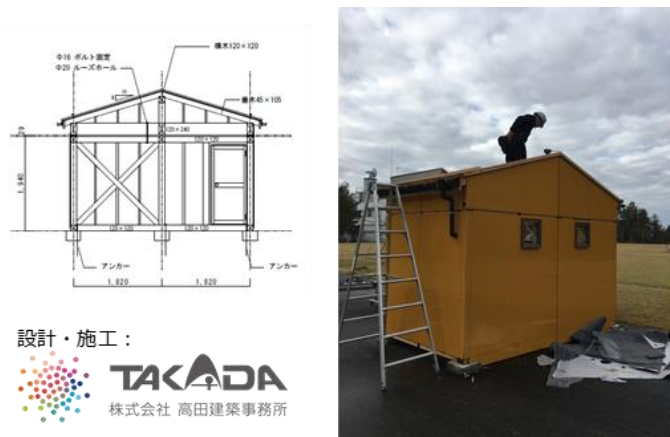


図 18 屋根雪試験棟（2018 年度）

屋根雪実験棟では、新潟工科大学の研究として、屋根を構成する小屋組みの四隅に荷重計を設置し（図19）、降雪による重量変化を測定した。屋根面には土圧計を合板の面位置に合わせて 6 か所設置し、その上に仕上げを施した。これは屋根面の積雪による圧力分布の計測を行うためのものである。両桁にある雨どいは屋内に引き込み、その先に転倒ます型量水計を設置し、屋根面が受ける雨水量や融雪水量を測定した。測定値は Web にてリアルタイムでの把握が可能である（図20）。今後は敷地内で観測された気象データと比較しながら、地上積雪との関係や降水量から積雪荷重推定を行う予定である。

一方、長岡サテライトの研究としては、屋根雪実験棟の垂木にたわみセンサーと歪みゲージを設置した（図21）。たわみ計測では比較的良好な結果が得られたもの、歪み計測の方は精度が低く、計測方法自体の実用性に多くの課題があることが確認された（図22）。

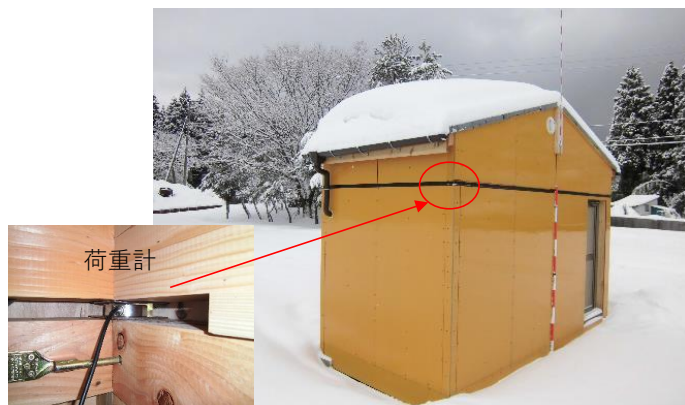


図 19 荷重計の設置

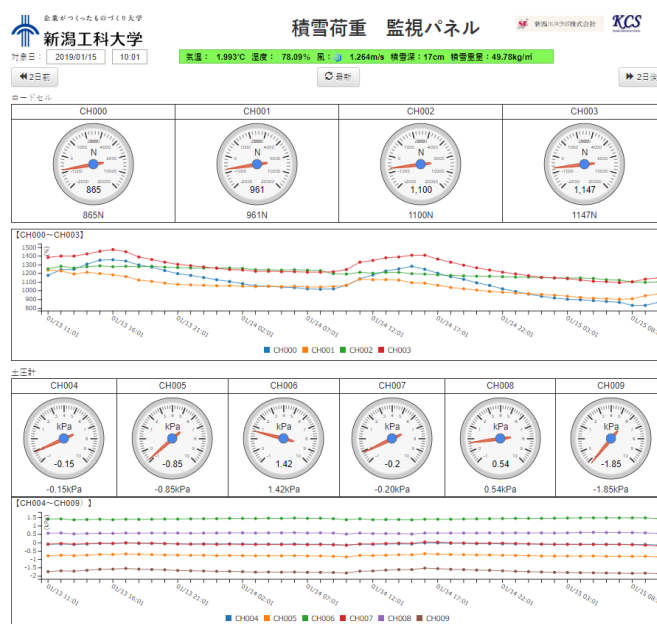


図 20 荷重計・土圧系の測定モニタリング

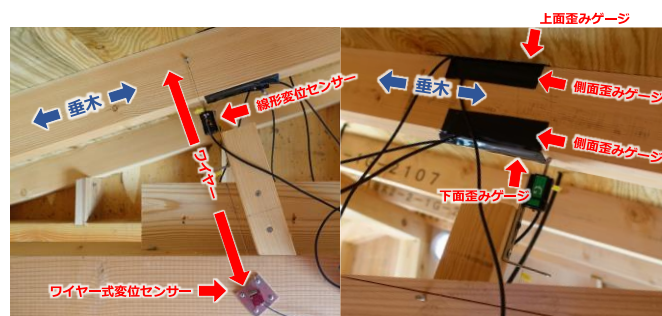


図 21 たわみセンサー・歪みゲージの設置

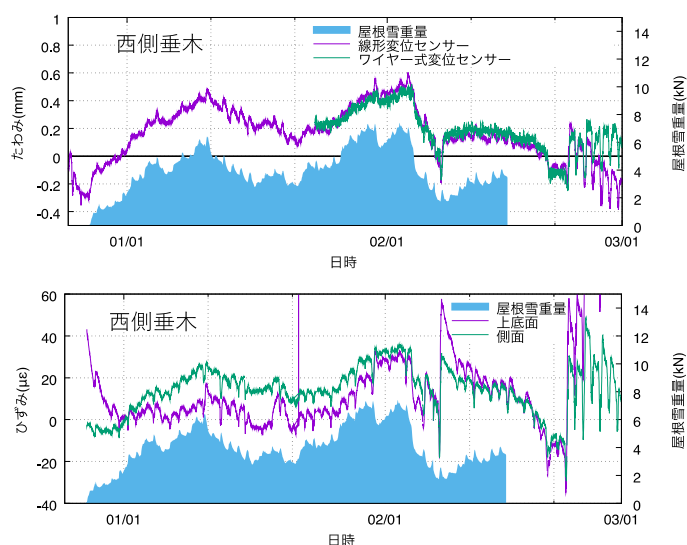


図 22 たわみ計測（上）・歪み計測（下）

#### 4. 新冬期道路管理システムの開発

現在、社会実装に最も近いのが「詳細降雪・気象情報提供システム」と「路面温度予測配信システム」であり、既にシーズンを通した稼働は実証している。長岡サテライトでは、除雪車両にセンサーを設置し、走行状況や作

業状況をリアルタイムで把握するシステムの構築にも着手したところであり、この情報を組み合わせることで、「IoT を活用した統合的な冬期道路管理システム」（図 23）としてさらなる発展を図り、ビジネスとして展開したいと考えている（図 24）。

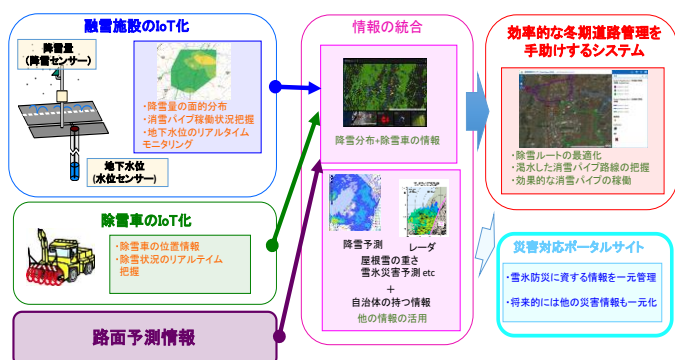


図 23 IoT を活用した統合的な冬期道路管理システム

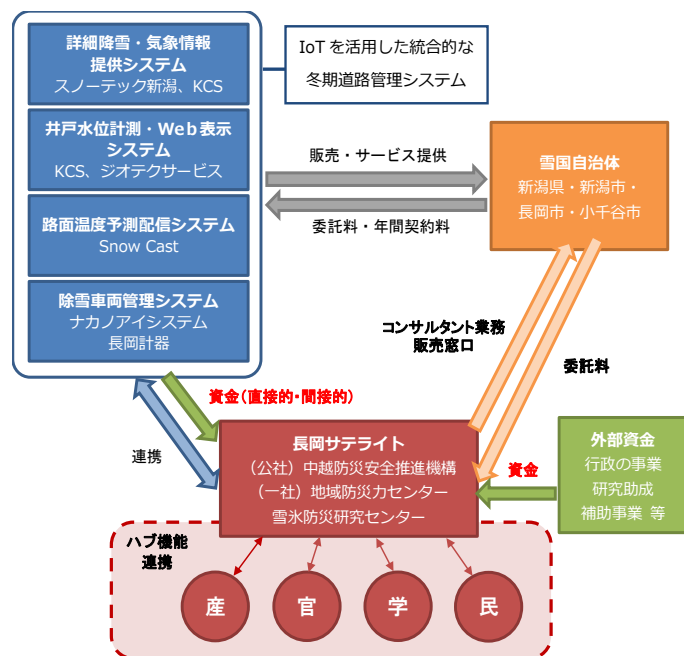


図 24 IoT を活用した統合的な冬期道路管理システムによるビジネス展開イメージ

## 5. 長岡サテライトの将来展望

長岡サテライトの本当の価値は、「詳細降雪・気象情報提供システム」や「路面温度予測配信システム」といった具体的なアウトプットというより、そのようなイノベティブな社会実装を生み出す仕組みが構築されつつあるということである。その際に最も重要なことは、関わる各メンバーにとってその場に唯一無二の価値があり、必然としてそれぞれが自分のため（自分の組織のため）に主体的に行動するという環境をどのように創り上げるかということ（図 25）。正しい解がない中、試行錯誤で取り組んできたプロセスこそが長岡サテライトの最大の知見であり、そのための気象ハブであったといえる。



図 25 長岡サテライトの本質的価値

イノベーションハブ構築支援事業は、2015 年度から 2019 年度までの 5 か年事業であるため、気象ハブも今年度が最終年度である。これまでは、長岡サテライトの運営及び事業展開に必要な予算は、人件費及び事業費を含めて全て防災科研より充当され、雪氷研の研究員（職員）も本来業務として主要な役割を担っている。気象ハブ終了後は、その前提条件が根底から変わる。これからは長岡サテライトが「雪国の課題解決に向けたイノベーションを創出するハブ機能」を発揮していくためには、雪氷研もひとつの構成メンバーとして、みんなでハブ機能を支える・担う、みんなで資金を獲得する・利益を上げる形へと転換していく必要がある。

各 WG による実証実験が成果を上げ、ビジネスという形で社会実装されるとともに、そこから対価（利益）を得ることで、長岡サテライトに直接的・間接的に資金が確保され、結果的に資源（人・モノ・カネ）も確保されるという仕組みが一つの理想形である。また、国や地方自治体の各種補助事業、公的機関・民間機関等の研究助成、大学等との共同研究費といった外部資金を獲得する可能性も格段に広がる。

これからが我々の本当のスタートラインである。

## 参考文献

- 1) 諸橋和行：地域防災×ハブ機能×イノベーション～気象災害軽減イノベーションセンター長岡サテライトの始動，寒地技術論文・報告集 vol.32，2016。
- 2) 諸橋和行：気象災害軽減イノベーションセンター長岡サテライト 2017，寒地技術論文・報告集 vol.33，2017。
- 3) 諸橋和行：気象災害軽減イノベーションセンター長岡サテライト 2018，寒地技術論文・報告集 vol.34，2018。