

LPWA を活用した西駒ステーションの気温データの遠隔測定

渡邊 修*・菊田文太郎**・嶋崎 傑***・三木敦朗*・小林 元****

*信州大学農学部植物資源科学コース

**伊那市有線放送農業協同組合

***株式会社新光商事

****信州大学農学部森林・環境共生学コース

*****信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター

要旨

温暖化による気候変動のモニタリングを長期的に行うため、LPWA (LoRaWAN, 920 MHz) の通信技術を用いたセンサー端末の温度通知システムを開発し、信州大学西駒ステーションの気温の遠隔測定を試みた。試験的に設置した LoRaWAN 温度センサーはアメダス観測点 (伊那) の日平均気温との誤差が0.4℃程度で、15分ごとに気温を通知するセンサーとして活用できることを確認した。西駒ステーションの5カ所に端末を設置した結果、尾根筋の西駒登山道信大ルート (水無坂, 標高1650 m), 西駒登山道信大ルート分岐 (標高2100 m), 西駒ステーション将棋ノ頭 (標高2675 m) の3カ所で安定した通信を行うことができ、気温データ収集ツールとして活用可能であった。LoRaWAN 温度端末は電源等の確保が困難なフィールドで高い精度で気温の測定ができ、多数の端末をフィールドに設置できる利点を持つことに加え、受信局を設置することで他の山岳域へも展開できる。

キーワード：LPWA, 気温, 温暖化, 遠隔測定

1. はじめに

山岳地帯は温暖化による気候変動の実態や植生への影響を受けやすく、植生帯の移行や消滅等が懸念されており³⁾、気温データの長期的な収集が必要である。信州大学西駒ステーションは標高差が大きく、山岳生態系の長期モニタリングサイトとしてフィールド研究が進められているが、調査地へのアプローチが悪く、電源の確保が難しいため、環境のデータ収集には多くの労力やコストがかかる。気温の測定は直達光を避け、サーミスタ温度計等を通風筒に設置し、一定間隔でログを保存するが^{1,2,4)}、ログデータの回収や観測機器の定期的なメンテナンスが必要のため、多数設置することは困難である。

近年開発された LPWA (Low Power Wide Area) は、省電力で長距離通信を可能とする無線規格で、IoT 機器を活用した次世代通信規格として各地で開発利用が進められている。新光商事株式会社は LPWA 規格の一つである「LoRaWAN」に準拠した無線通信モジュール「MM002-LS-AS」を開

発し、信州大学、新光商事株式会社、伊那市有線放送農業協同組合で研究グループを構築して畷センサーへの活用を進めてきた⁵⁾。LoRaWAN は野外において10 km 以上の長距離通信が可能で、免許不要の特定省電力無線規格920 MHz 帯が割り当てられている。

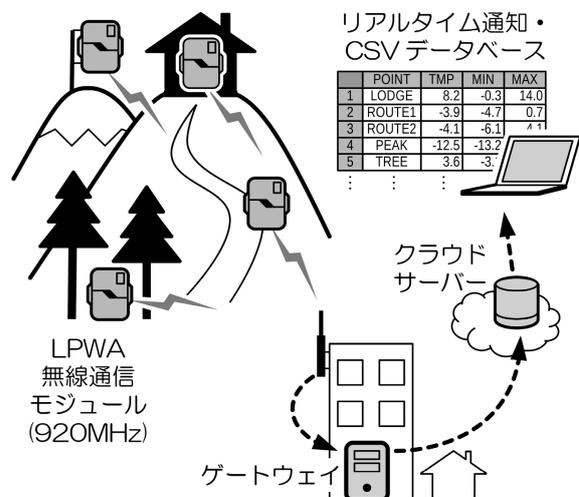


図1. LPWA (LoRaWAN) 通信モジュールを搭載した端末による山岳地域での温度データ収集と通信システムの概要。

受付日 2020年12月23日

受理日 2021年2月5日

LoRaWAN 通信モジュールを搭載した端末は、低電力で長時間駆動させることが可能で、現地に設置した端末から定期的に情報を発信できる(図1)。一般的に屋外の無線通信は携帯電話通信網を利用するSIMによって行われるが、電力消費が大きいため電源を確保しにくい山岳地帯で長期間観測することは難しい。また山岳地帯は居住域でないため携帯圏外であることが多い。

本研究では、屋外設置型 LoRaWAN 受信局(Gateway)を伊那市内に配置し、信州大学農学部西駒ステーションに複数設置した温度センサー端末と屋外受信局との間で定期的な通信を行い、温度データの収集が可能か実証研究を行った。また、今回取得した温度データが、西駒ステーションの気温変動をモニタリングするツールとして利用可能か検討した。

2. 観測機器・観測場所・方法

LoRaWAN の通信モジュールを搭載した温度センサー端末と筐体は、NICT(情報通信研究機構)で開発した端末を用いた(写真1)。端末筐体内の

基板上に組み込んだ温度センサー(BOSCH社製)で筐体内の温度データを約15分ごとに通知するファームウェアを作成し、屋外から安定した通信が実施できるか確認した。端末の温度取得と通信はリチウムイオン乾電池(CR123A, 2個)の3.0V電圧で駆動させた。端末筐体内のセンサー温度と気温がどの程度一致するかを確かめるため、気象庁のアメダス観測地点(伊那)に隣接する伊那市役所駐車場の地上1.5mに、直達光を避け通風を確保した簡易百葉箱に温度センサー端末を設置し、アメダスの気温とセンサー端末の温度を比較した。確認期間は気温変化が大きくなる晩夏から初秋の2020年9月9日~10月22日である。

LoRaWAN モジュールを搭載した温度センサー端末から発信された電波を受信する屋外受信局(Gateway, Kerlink社製)は、中央アルプス山域を含む伊那市内全域を概ねカバーするように配置した。受信局の位置は、JA西箕輪支所(N: 35.87493, E: 137.92713), JA美篤カントリーエレベータ(N: 35.84320, E: 138.01032), JA富県支所(N: 35.81076, E: 137.98926)である。温度



写真1. LPWA (LoRaWAN) モジュールを搭載した温度センサー。筐体はIP67相当の防水・防塵性能、リチウムイオン乾電池(3V)で駆動。

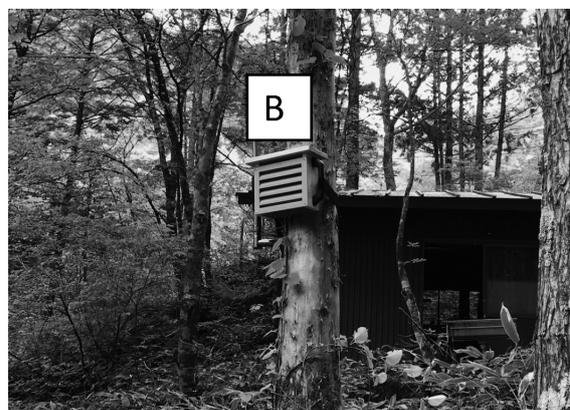
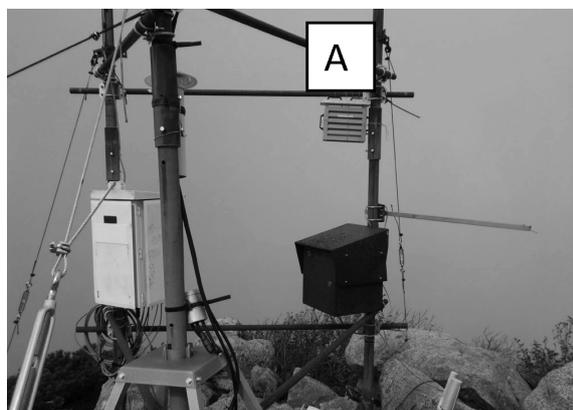


写真2. 西駒ステーション将棋ノ頭に設置した温度センサー(A)、演習林管理小屋に設置した温度センサー(B)。

表1. 西駒ステーションにおける温度センサー設置位置と接続中継局までの距離、観測開始日、24時間通信成功率.

観測地点名	観測点の 標高(m)	接続中継局	中継局 標高(m)	直線距離 (km)	観測開始日	24時間通信 成功率%
西駒演習林管理小屋	1430	JA 美篤カントリー	746	15.1	2020/6/7	82
西駒登山道信大ルート1 (水無坂)	1550	JA 美篤カントリー	746	15.0	2020/6/7	89
西駒登山道信大ルート2 (水無坂)	1650	伊那有線西箕輪局	824	9.1	2020/6/7	100
西駒登山道信大ルート分岐	2100	JA 富県支所	706	14.1	2020/9/23	100
西駒将棋ノ頭	2672	JA 富県支所	706	14.4	2020/10/13	100

センサー端末は西駒ステーションの5地点に設置した(写真2)。設置場所は西駒演習林管理小屋(ヒノキ小屋, 標高1430 m), 西駒登山道信大ルート1(水無坂, 標高1550 m), 西駒登山道信大ルート2(水無坂, 標高1650 m), 西駒登山道信大ルート分岐(標高2100 m), 西駒ステーション将棋ノ頭(標高2672 m)である(表1)。

3. 結 果

アメダス気温データと簡易百葉箱に設置した温度センサーの時間平均値のプロットを図2に示した。測定結果から, 時間帯によってアメダスよりも2~3℃高くなるケースがあったが(図2), 曇天や夜間は気温とほぼ一致していた。温度センサーの値から気温を推定する線形回帰モデルを作成した結果(式1), 回帰モデルの決定係数は0.9876であった。

$$\text{気温(推定値)} = 0.95 * \text{センサー温度} + 0.533 \quad \dots(\text{式1})$$

アメダス気温と温度センサーの日平均気温を比較した結果, 温度センサーの値は気温よりも若干高くなったが, 日平均気温の変化はほぼ一致した(図3)。アメダス日平均気温と温度センサーの日平均気温の差の二乗平均平方根(RSM: Root mean

square) を計算した結果, $RMS = 0.401$ であり, 日平均気温の誤差は約 0.4°C であった。ただし, 気温が高いときにはこの誤差が大きくなる傾向がみられた。この結果から, 直達光を避けた状態で測定したLPWA 温度センサーは, 屋外において気温に近い値をリアルタイムに通知する端末として現地で使用可能と判断した。

西駒ステーションの5地点で温度センサー端末を用いた通信結果を表1に示した。西駒演習林管理小

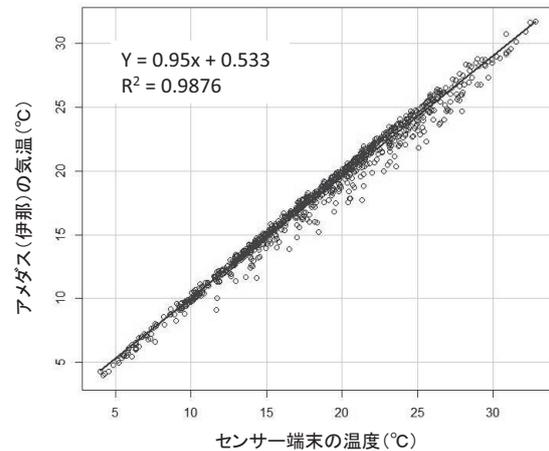


図2. アメダス(伊那)の気温とアメダス観測点に隣接した場所で測定したLPWA 端末の温度の関係. プロット値は時間平均. データ取得は2020年9月9日~10月22日.

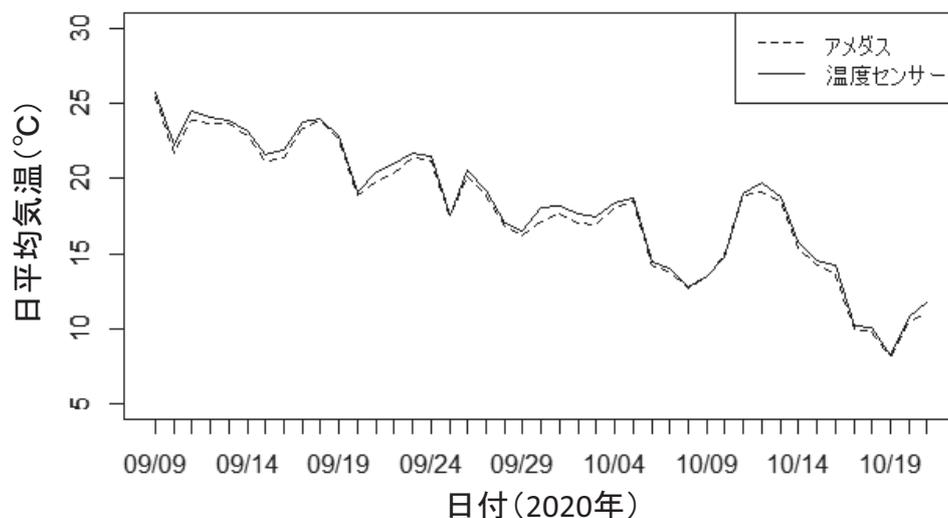


図3. アメダス(伊那)の気温とアメダス観測点に隣接した場所で測定したLPWA 端末の日平均気温の関係. データ取得は2020年9月9日~10月22日.

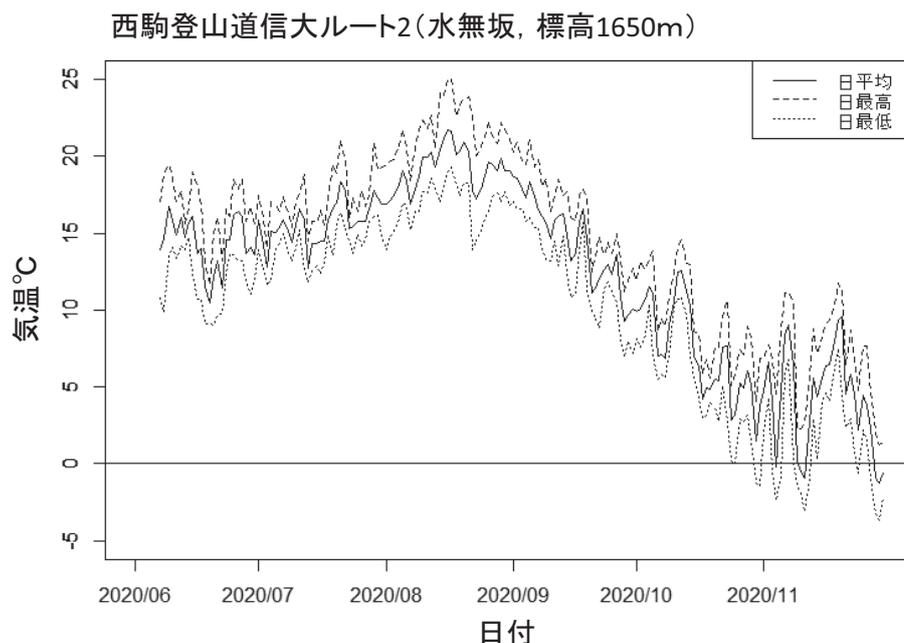


図4. LPWA 温度センサー端末で測定した西駒登山道信大ルート2水無坂(標高1650 m)の日平均、日最高、日最低気温の変化. データ表示は2020年6月7日~11月30日.

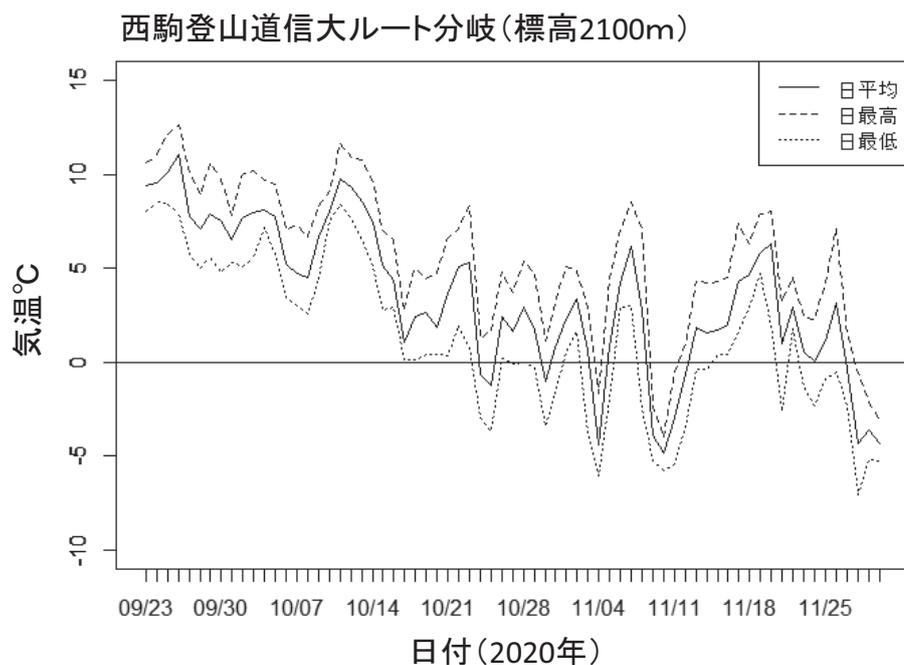


図5. LPWA 温度センサー端末で測定した西駒登山道信大ルート分岐(標高2100 m)の日平均、日最高、日最低気温の変化. データ表示は2020年9月23日~11月30日.

屋と西駒信大ルート1の観測点は24時間通信成功率がそれぞれ82%, 89%で、欠測データが多数見られた。西駒信大ルート2, 西駒信大ルート分岐, 西駒将棋ノ頭の観測点は通信成功率100%であり、この3地点の気温データを集計した。

西駒信大ルート2(標高1650 m)の日平均、日最高、日最低気温の変化を図4に示した。データは温度センサーの実測値を用いた。表示期間は2020年

6月7日~11月30日である。この観測点は西駒演習林内の天然広葉樹林帯でミズナラが優占している。測定期間中の最高気温は8月中旬の25.0 $^{\circ}$ C, 9月下旬以降最低気温が10 $^{\circ}$ C以下, 10月下旬から最低気温が氷点下となった(表2-A)。西駒登山道信大ルート分岐(標高2100 m)の日平均、日最高、日最低気温の変化を図5に示した。表示期間は2020年9月23日から11月30日である。この観測点はシラビソ

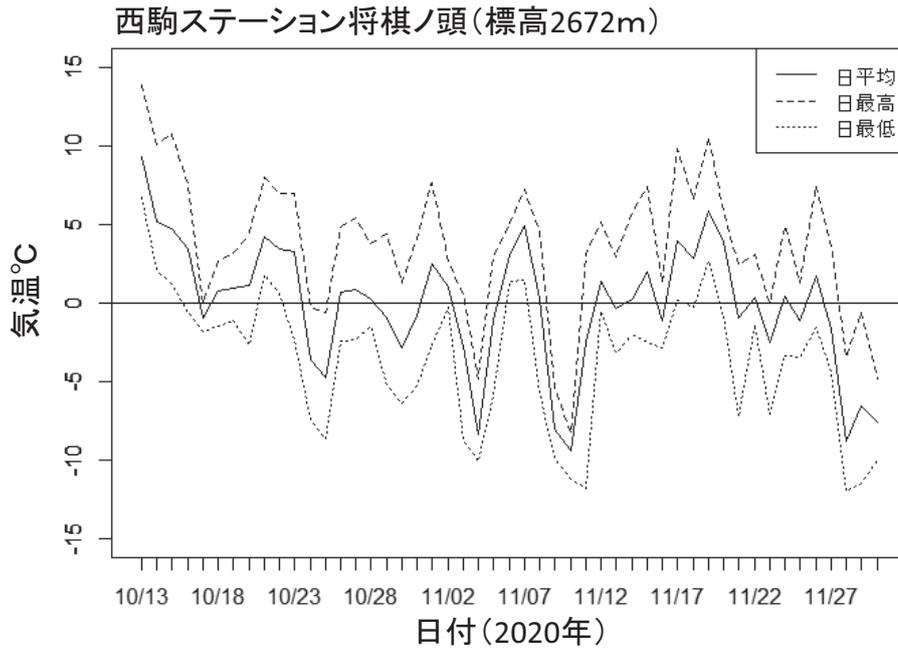


図 6. LPWA 温度センサー端末で測定した西駒ステーション将棋ノ頭（標高2672 m）の日平均、日最高、日最低気温の変化。データ表示は2020年10月13日～11月30日。

表 2. LPWA 温度センサー端末で測定した西駒ステーションの気象旬表。A：西駒登山道信大ルート 2（水無坂、標高1650 m）、B：西駒登山道信大ルート分岐（標高2100 m）、C：西駒ステーション将棋ノ頭（標高2672 m）。

A

年	月	旬	気温 (°C)				
			平均			最高	最低
			日平均	日最高	日最低		
2020	6	上旬	15.3	18.5	12.1	19.5	9.9
		中旬	13.9	16.1	11.7	19.0	9.0
		下旬	14.4	16.5	12.0	18.5	9.7
	7	上旬	15.0	16.4	13.5	17.5	11.6
		中旬	15.2	17.0	13.5	19.5	11.8
		下旬	16.6	18.4	15.1	21.1	13.7
	8	上旬	18.1	20.5	15.9	22.4	13.9
		中旬	20.6	23.3	18.2	25.0	17.1
		下旬	18.9	21.6	16.5	23.9	13.9
	9	上旬	17.1	19.4	15.3	21.1	13.2
		中旬	14.8	16.8	12.7	18.5	10.0
		下旬	11.5	13.4	9.3	15.0	6.9
	10	上旬	9.4	11.5	7.6	13.8	5.5
		中旬	8.0	9.8	6.2	14.6	2.9
		下旬	4.9	7.4	1.7	10.6	-1.4
	11	上旬	4.3	7.2	1.2	11.2	-2.4
		中旬	5.7	8.4	3.0	11.8	-3.1
		下旬	2.5	5.1	-0.1	8.7	-3.7

B

年	月	旬	気温 (°C)				
			平均			最高	最低
			日平均	日最高	日最低		
2020	9	中旬	8.8	10.7	6.7	12.6	4.8
		上旬	6.7	8.6	5.0	10.2	2.6
	10	中旬	5.2	7.3	3.4	11.6	0.1
		下旬	1.9	4.4	-0.8	8.3	-3.7
	11	上旬	0.7	3.2	-1.8	8.5	-6.1
		中旬	2.5	4.7	0.2	8.0	-5.4
		下旬	-0.4	2.0	-2.6	7.1	-7.1

C

年	月	旬	気温 (°C)				
			平均			最高	最低
			日平均	日最高	日最低		
2020	10	中旬	3.1	6.6	0.3	13.9	-2.7
		下旬	0.0	4.1	-3.6	8.0	-8.6
	11	上旬	-1.8	1.2	-5.2	7.7	-11.2
		中旬	1.6	5.9	-2.1	10.6	-11.8
		下旬	-2.7	1.4	-6.2	7.4	-12.0

オオシラビソが優占する天然針葉樹林帯である。10月下旬に最低気温が氷点下となり、9月下旬から11月下旬の日平均気温は西駒信大ルート 2（標高1650 m）よりも約 3°C 低かった（表 2-B）。西駒ステーション将棋ノ頭（標高2672 m）の日平均、日最高、日最低気温の変化を図 6 に示した。表示期間は2020年10月13日から11月30日である。この観測点はハイマツが優占する強風地帯で、最高気温と最低

気温の差が非常に大きい。10月中旬から最低気温が氷点下を示し、11月の最低気温は-10°Cを下回った（表 2-C）。これらの観測点の気温は現在も15分ごとに通知され、通年の観測データの収集が見込まれる。

4. 考 察

標高差の非常に大きい森林地帯を有する西駒ステーションを対象に LPWA (LoRaWAN) を用いた気温の遠隔測定の実証研究を行った。ここで用いた端末は NICT の委託研究 (データ連携・利活用による地域課題解決のための実証型研究開発) の鳥獣害センサーを温度センサー端末として改良したもので、受信局 (Gateway) の設置も当プロジェクトで整備したものである。温度センサー端末は温度が上昇しにくい白色の筐体を採用した。通信間隔を約 15 分に設定したファームウェアを作成し、通常では電源確保が困難でアプローチの悪い場所から通信を行った。欠測値が生じた西駒演習林管理小屋と西駒登山道信大ルート 1 は小黒川溪谷の谷筋で、中継局への見通しがなかったために、安定した通信が実現しなかったと考えられる。尾根筋に設置した 3 地点の通信は安定しており、西駒登山道信大ルート 2 と西駒登山道信大ルート分岐は樹林帯の中であったが、通信は安定していた。西駒ステーション将棋ノ頭は伊那谷が一望でき、受信局も目視できるため、電波強度が高く通信が非常に安定していた。LoRaWAN の電波は障害物がなければ 20 km 近くの距離で通信可能であるため、他の山域でも活用できると思われる。

今回測定した温度は、センサーが大気に直接接触していないため本来測定される気温とは完全に一致しないが、温度データとして利用するには式 1 の推定モデルによる補正が有用と思われる。端末の温度センサーは筐体内にあるため気温より少し高い値を示すが、日平均気温の変化はアメダス気温データとほぼ一致し、気温測定端末として高い精度で活用できると判断された。

LPWA (LoRaWAN) は 11 byte の情報を 920 MHz の電波を利用して長距離通信を行う。山岳地帯での通信実証例は極めて少なく、標高 2700 m 前後の高山帯からの通信実証は国内初と思われる。また西駒ステーション内の標高 1650 m や 2100 m 付近の気温を継続的に測定した例はなく、電源確保が困難な場所での活用が期待される。通信モジュールと温度センサーを一体化した端末は、現地に多数設置することが可能で、温暖化の気温変動を標高ごとにモニタリングするツールとして活用できる。

謝 辞

本研究の実施の一部は信州大学山岳科学研究拠点の 2019~2020 年度の重点研究「気候変動に対する森林の応答予測 - 西駒演習林における森林標高傾度観測拠点の形成」で実施した。また LoRaWAN 温度センサーの開発と伊那市内に設置した中継局の設置は NICT (情報通信研究機構) の委託研究「平成 30 年度~令和 2 年度: データ連携・利活用による地域課題解決のための実証型研究開発」で実施した。

引用文献

- 1) 小林 元・小川忠繁・鈴木 純・野溝幸雄・木下 渉 (2011) 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター西駒ステーションにおける 2009 年の気象観測データ. 信州大学農学部 AFC 報告: 9-125-127.
- 2) 小林 元・野溝幸雄・木下 渉・鈴木純 (2012) 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター西駒ステーションにおける 2010 年の気象観測データ. 信州大学農学部 AFC 報告 10: 161-162.
- 3) 小林 元・片野亜紀・佐野深作・川谷尚平・野溝幸雄・木下 渉・酒井敏信・白澤紘明・荒瀬輝夫 (2019) 信州大学西駒ステーションの森林限界における林分構造. 信州大学農学部 AFC 報告 17: 19-26.
- 4) 木下 渉・鈴木 純・小林 元 (2008) 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター手良沢山ステーションにおける気象データの収集. 信州大学農学部 AFC 報告 6: 87-89.
- 5) 渡邊 修・菊田文太郎・島崎 傑・若狭正生・平山和徳 (2018) LoRaWAN を利用した鳥獣害センサーの開発と通信可能エリアの可視化. システム農学会. 2018 年度大会講演要旨集: 23-24.

Remote measurement of temperature data at Nishikoma Station using LPWA

Osamu WATNABE*, **Buntaro KIKUTA****, **Suguru SHIMAZAKI*****, **Atsuro MIKI******
and Hajime KOBAYASHI**, *******

*Division of Plant Resources Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

**Ina Cable Broadcasting Agricultural Cooperative

***Shinko Shoji Co., Ltd.

****Division of Forest and Environmental Symbiosis Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

*****Education and Research Center of Alpine Field Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

Summary

In order to monitor climate variability due to global warming over the long term, we developed a temperature notification system for sensor terminals using LPWA (LoRaWAN, 920MHz) communication technology, and attempted remote measurement of the temperature at Shinshu University AFC Nishikoma Station. It was confirmed that the LoRaWAN temperature sensor installed on a trial basis has an error of about 0.4 °C with the daily average temperature at the AMeDAS observation point (Ina Station, Nagano Prefecture), and can be used as a sensor to notify the temperature every 15 minutes. As a result of installing terminals at five locations at Nishikoma Station, stable communication can be achieved at three locations : the Nishikoma mountain trail Shinshu route (Minamizaka, altitude 1650 m), Nishikoma mountain trail Shinshu route branch (2100 m) and Nishikoma station Shogi-no-Kashira(2675m). This temperature terminal could be used as a temperature data collection tool. LoRaWAN temperature terminals can measure with high accuracy in fields where it is difficult to secure a power source, etc., and in addition to having the advantage of being able to install a large number of terminals in the field, it can also be expanded to other mountainous areas by installing a receiving station.

Key Words : LPWA, Temperature, Global warming, Remote measurement