

IoT による地盤沈下の観測
Monitoring of Land Subsidence with IoT
河原和好¹

要旨

昨今 IoT (Internet Of Things : モノのインターネット) という言葉を目にする機会が多くなっており、今後の発展も見込まれている。IoT はモノと、マイコン、センサ、通信技術を要素としている。

IoT を地盤沈下監視分野への適用可能性を検証するための、新潟県保健環境科学研究所情報調査科と共同研究を 2017 年度から行っており、途中経過を研究ノートとして新潟国際情報大学経営情報学部紀要第 1 号にて報告した。

本研究ではさらなる共同研究の成果報告をするともに、今後の課題について述べる。

キーワード : IoT、地盤沈下、センサ、Arduino、3GIM モジュール、消費電力

1. はじめに

IoT (Internet Of Things : モノのインターネット) という言葉を目にする機会が多くなっている。総務省情報通信白書[1]によると、2017 年時点で IoT デバイス数は 270 億に達し、2020 年は約 400 億と拡大すると予想されている。

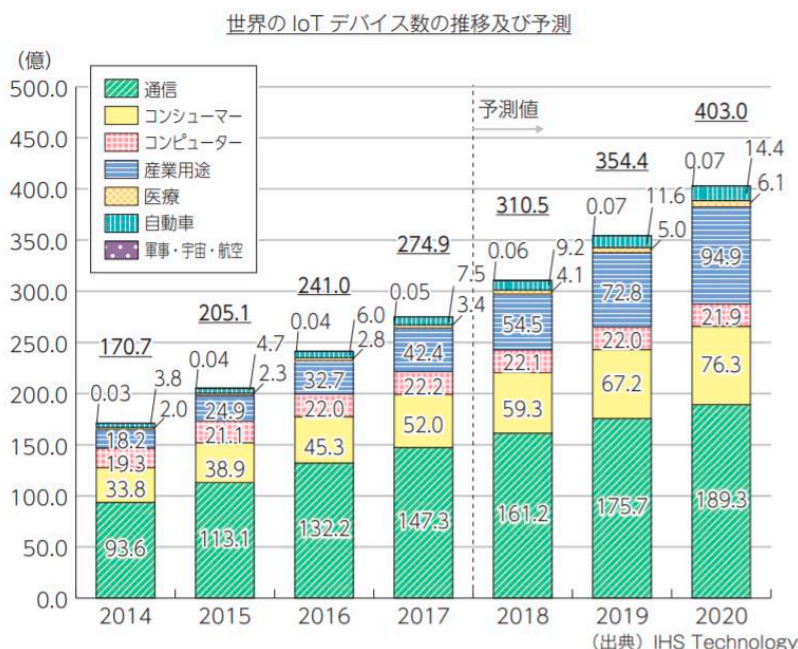


図 1 世界の IoT デバイス数の推移及び予測[1]

¹ Kazuyoshi Kawahara 情報システム学科

本学においては、情報処理演習においてマイコンボード Raspberry Pi を用いた演習を行うなど、IoT を用いた学習に対応している。また、私の研究室においても、Raspberry Pi や後述する Arduino を用いた卒業研究を行っており、2016 年度には新潟県 IT&ITS 推進協議会が主催する「にいがた暮らし IoT アイデアコンテスト 2016」[2]に応募し、書類審査を通過しデモンストレーションを行った[3]。

コンテストのデモンストレーションの際、新潟県保健環境科学研究所[4]（以下、保環研）の方と接点を持つことができ、提案を頂いたことで、地盤沈下の監視に IoT を使うための実証実験の共同研究を行うこととなった。2017 年度における共同研究の途中経過は、研究ノートとして新潟国際情報大学経営情報学部紀要第 1 号[5]および 2017 年度全環研北海道・東北支部 IoT の環境計測への適用セミナーにおいて発表[6]を行った。

本稿では、2018 年度において引き続き得られた共同研究の成果について述べ、さらに今後の課題と展開について報告する。

2. IoT

IoT とは、Internet of Things の略語であり「モノのインターネット」と訳される[7,8]。基本的に、あらゆる「モノ」が対象であるが、「何をどのようにネットワークに接続するか」を考える必要がある。そして、「モノの接続」によって、そこに何らかの価値が生み出される。応用分野としては、工場などの製造分野や流通分野、自動車産業、ヘルスケア部門、家庭内など、多岐にわたっている。

概念はインターネット黎明期から存在していたが、技術の進歩に伴い、「マイコン」および「マイコンボード」の高性能化・低価格化、高性能かつ低価格を実現した「センサ」の登場、通信環境などのインフラの整備及び収集データを解析するためのクラウドの整備により、IoT を実現できるようになった。以下でこれらの要素について述べる[7,8]。

1. 「マイコン」はもともと「マイコンピュータ」の略語であったが、現在は「マイクロコントロールユニット」(Micro Control Unit, MCU)を表している。現状としては 8~16bit の組み込み向け「ワンチップ・マイコン」が用いられ、Microchip「PIC シリーズ」や Atmel「AVR シリーズ」、ARM「Cortex-M シリーズ」がよく用いられている。
2. 「センサ」とは、自然現象や人工物の様々な状態（物理現象）、情報（空間や時間）を、何等かの科学的原理を応用して読み取り、人間や機械が扱いやすい別媒体に置き換える装置のことである。コンピュータにとって、人間における目や耳などの五感（またはそれ以上）に相当する。
3. 通信技術はセンサとマイコンボード間およびマイコンボードとクラウド間で必要となる。Bluetooth などの近距離から 3G / 4G / WiMAX や Wi-Fi など遠距離までのネットワークが用いられている。
4. クラウドサービスとしては様々な機能が提供されているが、基本的な機能としては、ストレージ、データベース、データ解析基盤、ウェブサーバが必要となる。

その他にも、要求される機能に応じて様々な API(Application Interface)が必要となり、メール送受信、地図へのマッピング、グラフ作成など、様々な API が提供されている。

3. 地盤沈下とその観測

地下水をくみ上げることにより地盤沈下は引き起こされるが、工業用、上水道用とともに、近年では消雪用の地下水くみ上げが原因となっている[9]。新潟県においては、上越地域において顕著となっており、昭和 59 年から 61 年において 3 年連続の豪雪に見舞われたため、消雪用地下水のくみ上げが増加し、全国ワースト 1 位から 3 位の地盤沈下が生じた。このため、従来の工業用や上水道の規制から消雪用を重点とした地盤沈下対策が新潟県において展開されることとなった。同様に、消雪用くみ上げが多い地域である長岡地域、柏崎地域、南魚沼地域でも地盤沈下が見られたため観測が行われている。新潟・新発田地域では、昭和 30 年代には、年間最大沈下量が 54cm にも及ぶ著しい地盤沈下が起こったが、水溶性天然ガスの採取規制の実施などによって、昭和 50 年代以降は一部の地域を除いて全体的に沈静化してきている。しかしながら新潟地域は、信濃川や阿賀野川などの大河川や内陸部の広大な農地を有し、しかも広範囲のゼロメートル地帯を有する地域であることから、地盤沈下対策を継続していく必要がある。

保環研においても、県内において地盤沈下が生じた地域に設置してある地盤沈下観測井を監視し、地下水位及び地層収縮量のデータ集計を行い、その原因調査や地盤沈下防止のための調査を行っている。

現在の地盤沈下観測の体制は図 3-1、地盤沈下観測性の仕組みは図 3-2 となっている。地盤沈下観測井で観測されたデータは SD カード等に記録され、当該データを保環研に送付しており、回収されたデータを解析・集計し、年度ごとに公表している。

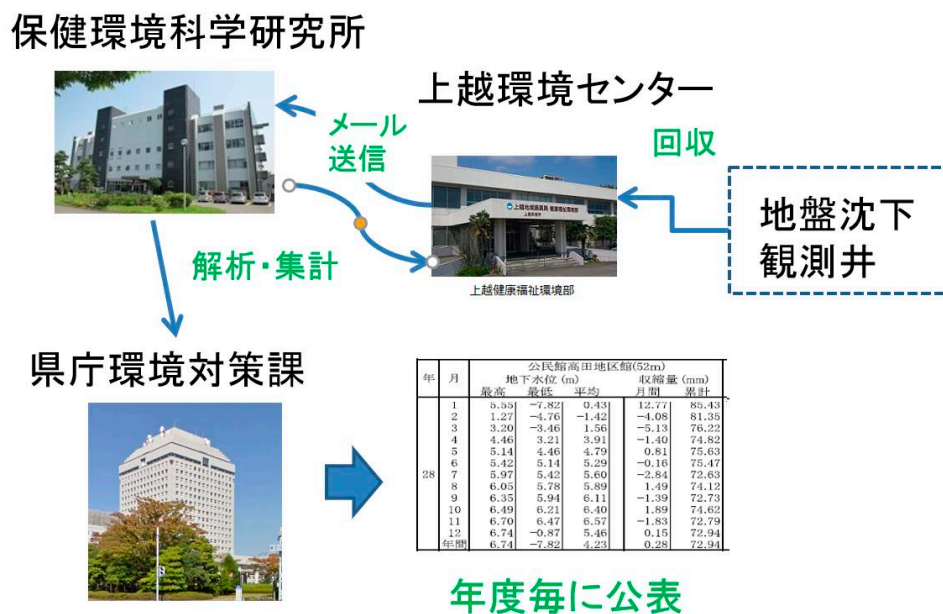


図 3-1 地盤沈下観測の現状

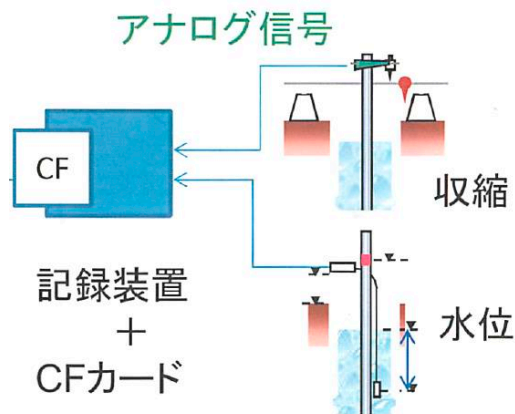


図 3-2 地盤沈下観測井の仕組み

地盤沈下観測井では、水位センサと収縮センサを用いて地下水位を計測している。それぞれのセンサは以下のとおりである（図 3-3）。

水位センサ[10]

- ・ 形式 ノースワン(株) KDC-S10-STM/N20-30
- ・ 測定推進スパン 20m
- ・ 出力電圧 50mV

収縮センサ[11]

- ・ 形式 (株)共和電業 DTH-A-50
- ・ 測定収縮スパン 50mm
- ・ 出力電圧 20mV 以下

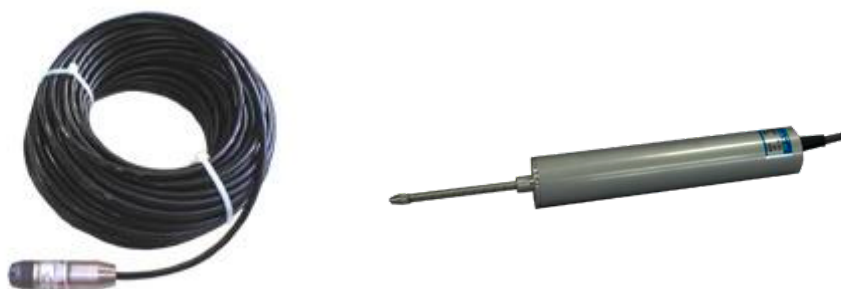


図 3-3 水位センサ(左)および収縮センサ(右)[10,11]

3.1 観測における課題

現在の地盤沈下観測における課題として、観測井で観測されたデータを回収する際に人手がかかる点と、それにより月次処理やリアルタイム処理ができていない点が挙げられる。

この点に対し、本研究では IoT を用いた解決方法を提案し実施を試みる。

4 本研究の内容

これまでの方式を改良し、観測データを IoT により Web サーバ等に送信する方法を提案し実証する (図 4-1)。センサにより地盤沈下を観測し、そのデータをマイコンボードに入力して処理し、3G 回線を通してサーバに転送する。これにより、保環研においてリアルタイム監視を行うことが可能となる。

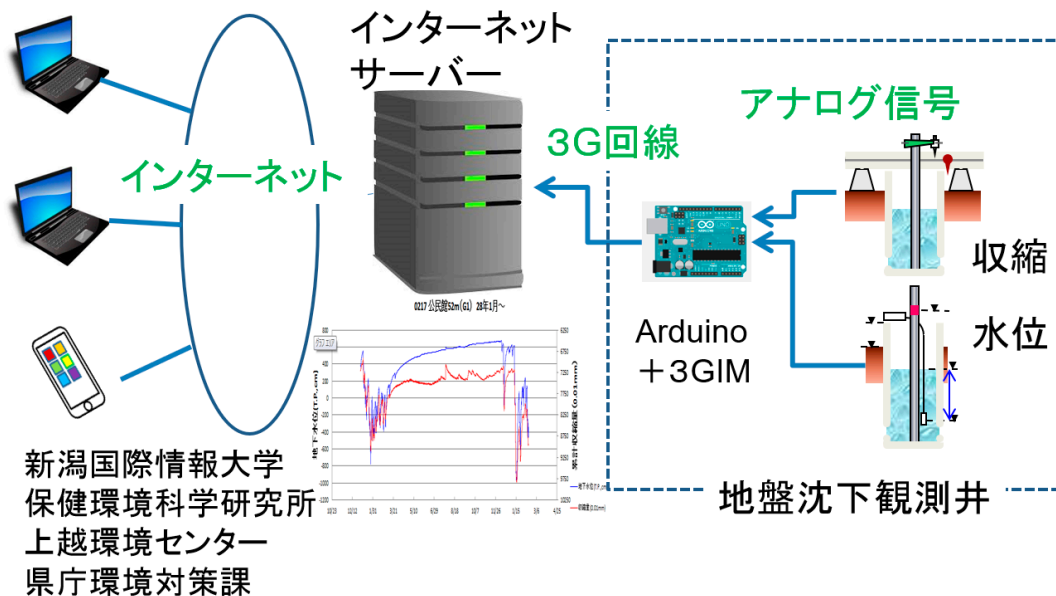


図 4-1 実証実験の仕組み

4.1 ハードウェア

IoT における要素であるマイコン、センサ、通信技術について、本研究で使用したものを説明する。

4.1.1 マイコン

Atmel「AVR シリーズ」であり、普及している「Arduino」(アルドゥイーノ)を用いた[12]。オープンソースで開発される小型マイコンボードおよびその開発環境を含めたシステムであり、シンプルな開発環境である「Arduino IDE」や様々なライブラリを用いることが出来る。「シールド」とよばれる機能拡張ボードを用いることで、簡単に機能の拡張が可能である。実験用環境としては、もっとも基本である「Arduino Uno」の互換ボードを使用した (図 4-2)。

入出力端子があり、デジタル出力、アナログ出力、デジタル入力、アナログ入力、シリアル通信が可能である。Raspberry Pi も検討したが、アナログ信号を取り扱えることと、後述する商品電力の関係から Arduino を用いることとした。

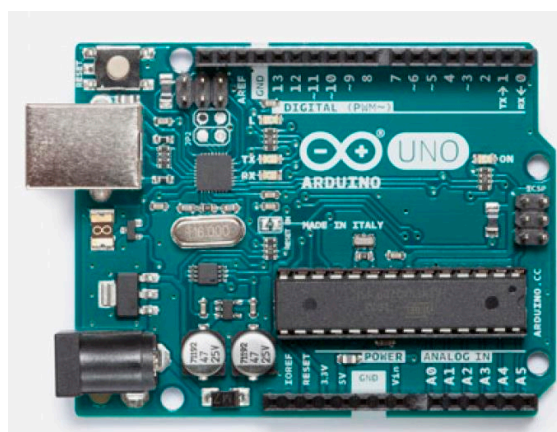


図 4-2 Arduino Uno[13]

4.1.2 センサ

以下の仕様の収縮（沈下）計を用いて実験を行った。マイコンボードとの接続は図 4-3 の通りである。

(株)日さく NLS2[14]

- ・ 測定範囲 0～100mm
- ・ 印加電圧 5V(DC)以内
- ・ 出力電圧 0～5V 以内
- ・ 抵抗値 5k Ω
- ・ 測定精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内

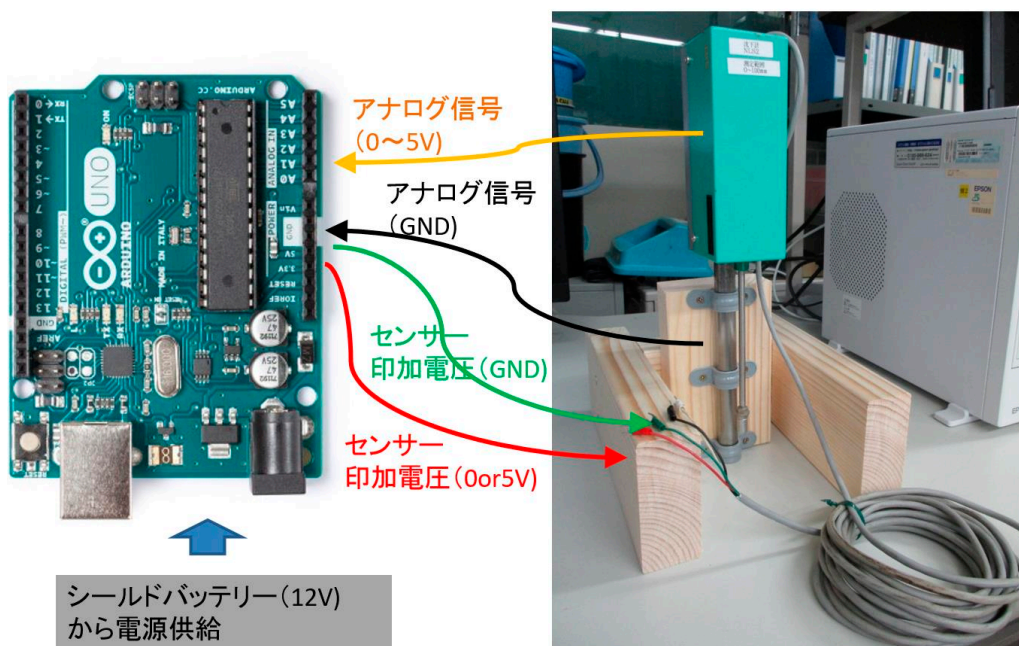


図 4-3 収縮計（右）とマイコンボードの接続

4.1.3 通信技術

3GIM V2.1 モジュール[15]および 3GIM シールド[16]を Arduino に接続することにより、3G 通信できるようになる (図 4-4)。

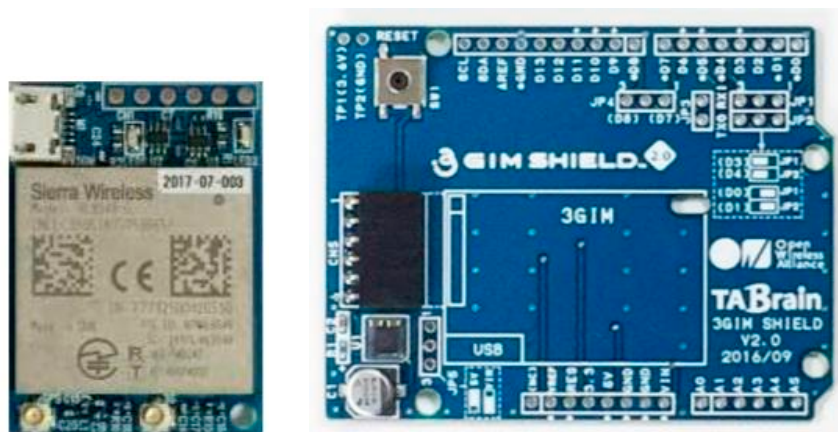


図 4-4 3GIM モジュール及び 3GIM シールド[15,16]

SIM カードが必要となるが、実験用としてはこれまで研究用に使用していた 0SIM[17]を用いた(図 4-5)。これは月 500MB まで無料で使える SIM カードである。



図 4-5 0SIM[17]

実際の観測データは測定日時と観測データであり、テキストデータとすると約 30 バイトである (図 4-8 で後述)。送信間隔は 10 分程度としているため、1 日の送信データは $30[\text{バイト/回}] \times 6[\text{回/時間}] \times 24[\text{時間}] = 4,320$ バイトとなり、1 ヶ月では最大 $288 \times 3 = 133,920$ バイト ≈ 130 メガバイトとなるため、0SIM における無料通信の範囲に収まることとなる。

4.2 ソフトウェア

センサから入力を読み込み、3GIM モジュールでサーバ等に送信するプログラム作成には、前述の Arduino IDE を用いた。シンプルで扱いやすい IDE (統合開発環境) で、プログラミング言語は C 言語をベースにした独自の専用言語である。

データの閲覧については BaaS (Backend as a Service) である IoT データ可視化サービスで

ある Ambient[18]を用いた（図 4-6）。仕様は以下の通りであり無料で使用可能である。本研究で必要な仕様を満たしている。

- ・ 1 ユーザーあたり 8 個までチャンネルを生成可能
- ・ 1 チャンネルあたり 8 種類のデータを送信可能
- ・ 送信から次の送信まではチャンネルごとに最低 5 秒空ける必要がある（それより短い間隔で送信したものは無視される）
- ・ 1 チャンネルあたり 1 日 3,000 件までデータを登録可能（平均 28.8 秒に 1 回）
- ・ 件数のカウントは 0 時に 0 クリアされる
- ・ 1 チャンネルあたり 8 個までチャートを生成できる

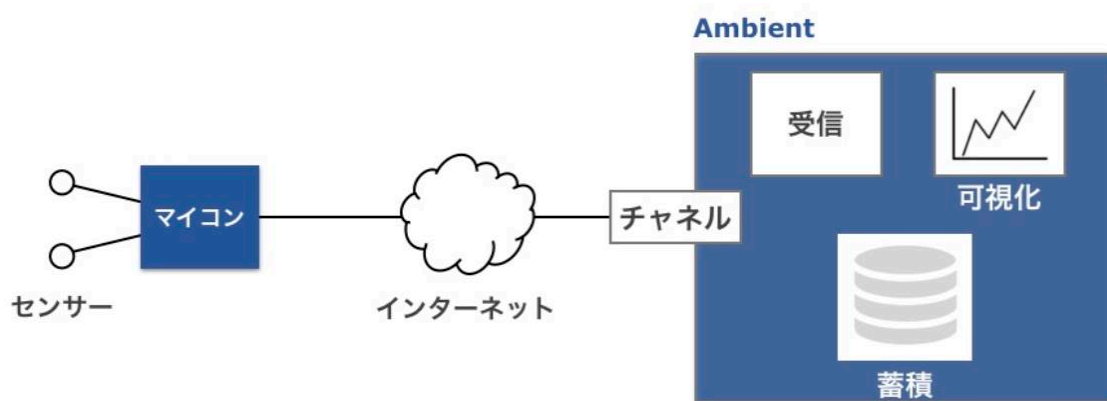
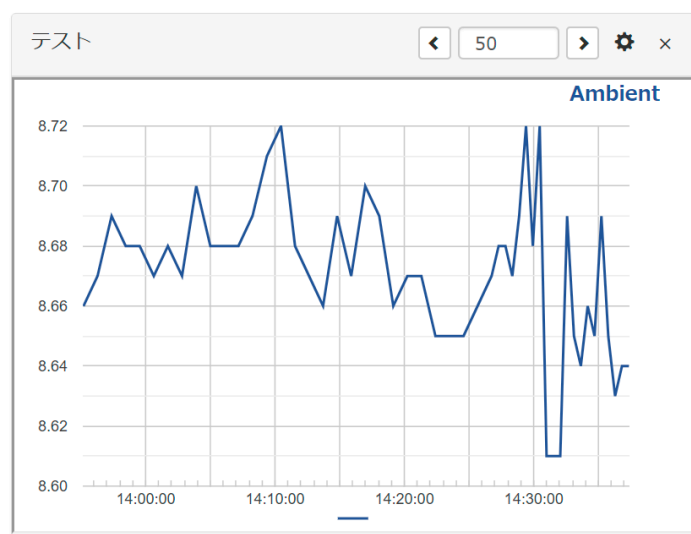


図 4-6 Ambient のしくみ[18]

4.3 現時点での成果

現状としては、Arduino と 3GIM モジュールに OSIM を接続し、アナログデータを観測して送信し、Ambient を用いて観測する一連の動作を確認している。図 4-7 が観測した Ambient のグラフであり、図 4-8 が観測したデータ（CSV 形式）の一部である。



AmbientData Inc.

図 4-7 Ambient のグラフ

	A	B
1	created	
2	2018-03-02T15:14:36.512Z	10.3
3	2018-03-02T15:15:36.615Z	10.3
4	2018-03-02T15:16:36.724Z	12.2
5	2018-03-02T15:17:36.833Z	12.2
6	2018-03-02T15:18:37.388Z	10.3
7	2018-03-02T15:19:17.063Z	10.9
8	2018-03-02T15:20:17.169Z	10.3
9	2018-03-02T15:21:17.276Z	11.9
10	2018-03-02T15:22:17.383Z	11.6
11	2018-03-02T15:23:17.486Z	9.9
12	2018-03-02T15:24:17.594Z	11.6
13	2018-03-02T15:25:17.706Z	10.9
14	2018-03-02T15:26:17.813Z	10.9
15	2018-03-02T15:27:18.660Z	9.3
16	2018-03-02T15:28:18.767Z	10.6
17	2018-03-02T15:29:18.875Z	9
18	2018-03-02T15:30:18.980Z	9
19	2018-03-02T15:31:19.089Z	9.9

図 4-8 観測データ（CSV 形式）の一部

4.4 今後の課題

前述の通りデータを計測して送信し観測する仕組みは完成しているため、実際の観測井に設置すればシステムを稼働させることができる。しかし、観測井には電源が無く、バッテリー駆動となり（図 4-9）、消費電力の関係からこのままでは連続した稼働が難しい。

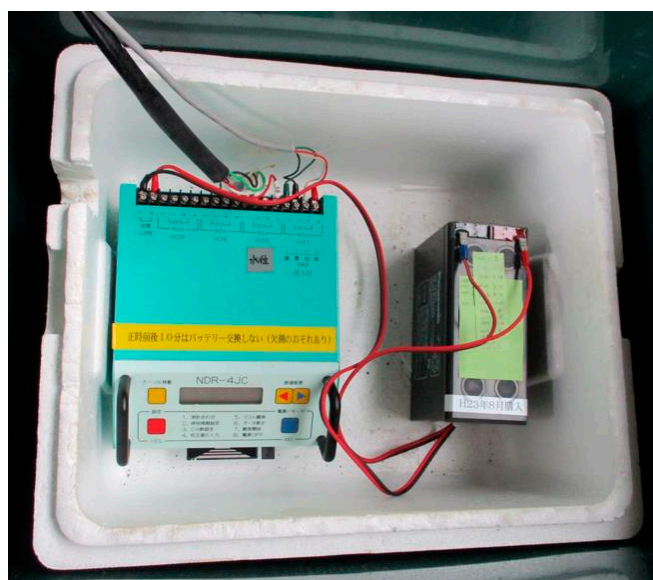


図 4-9 現在の観測井における仕組み（右側がバッテリー）

バッテリーとしては 12V で 7.2Ah のシールド（密閉型）バッテリー（図 4-10）[19]を用いてお

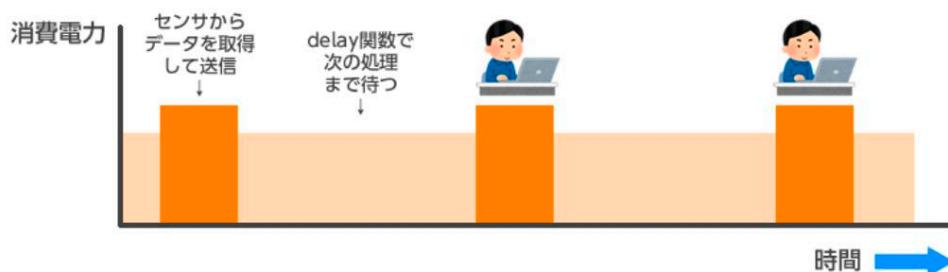
り、一般的な Arduino の消費電力は 25mA であるため、このままでは連続稼働は $7200[\text{mAh}] \div 25[\text{mA}] = 288$ 時間 = 12 日となる。実際には 3GIM モジュールを用いて通信をしているため、さらに消費電力は高くなることが予想され、これでは交換の手順がさらにかかってしまう。前述した人手がかかるという問題点の解消にはならず、月次処理やリアルタイム処理にも支障をきたしてしまう。



図 4-10 使用したバッテリー[19]

この問題の解決策として、Arduino にはスリープ機能があり（図 4-11）[20]、これを用いることで消費電力を抑えることができるため、その機能をプログラムに組み込むことが必要となる。現在はこの実験を行っている。

通常稼働させた場合



スリープ機能を稼働させた場合

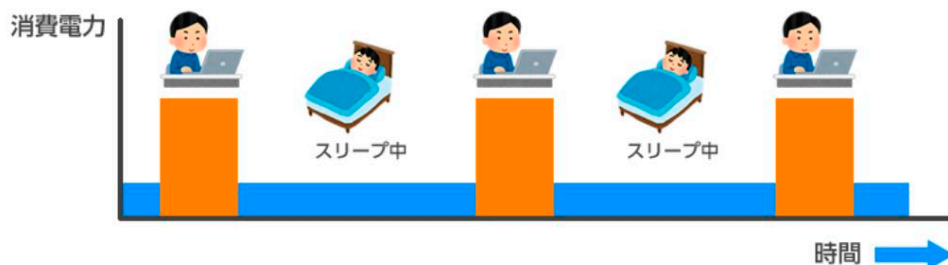


図 4-11 Arduino におけるスリープ機能のイメージ[20]

また、スリープ機能を組み込む場合、何分かおきにプログラムを起動して観測およびデータ送信となるため、観測のタイミングが正式に 10 分毎とならない場合が想定される。これを解決す

るには、SIM の通信機能を用いて時間を取得してからタイミングを合わせて観測するか、Arduino に時計機能を持たせる部品（図 4-12） [21] を追加することが考えられ、これについても現在実験を行っているところである。



図 4-12 RTC（リアルタイムクロック）DS1307+ [21]

5. まとめ

IoT を用いて地盤沈下を観測するためのシステムについて、現状の人手がかかり月次処理が難しいシステムを改良する手法を提案した。システム自体は完成したが、実際に稼働させるにあたり、消費電力の面から連続稼働が制限される課題が残っているため引き続き研究を継続している。

課題点については解決方法が明らかとなっているため、今後の研究により解決すると期待され、地盤沈下を人手などのコストをかけず、月次処理さらにはリアルタイム処理を行うことも可能になり、さらなる利便性が期待される。

謝辞

本研究は新潟県保健環境科学研究所情報調査科との共同研究であり機材の提供もしていただいている。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1. 総務省, 平成 30 年版情報通信白書, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/>
2. 新潟県 IT&ITS 推進協議会, にいがた暮らし IoT コンテスト 2016, <http://www.n-it-its.jp/act/2016/07/>
3. 新潟県 IT&ITS 推進協議会, にいがた暮らし IoT コンテスト入選, 猿から畑を守る「サルサーレ!」, <http://www.n-it-its.jp/act/2017/03/post-12.html>
4. 新潟県保健環境科学研究所, <http://www.pref.niigata.lg.jp/hokanken/index.html>
5. IoT による地盤沈下監視への適用, 河原和好, 新潟国際情報大学経営情報学部紀要第 1 号, 2018
6. 新潟県保健環境科学研究所の IoT の取組み, 植田信夫、種岡裕, 平成 29 年度全環研北海道・東北支部 IoT の環境計測への適用セミナー, 2018
7. 工学社, 瀧本往人, 『基礎からわかる「IoT」と「M2M」』, 2016

8. 秀和システム, 蔵下まさゆき, 『センサーでなんでもできる おもしろまじめ電子工作』, 2016
9. 新潟県, 環境対策課, 上越地域における地盤沈下, <http://www.pref.niigata.lg.jp/kankyotaisaku/1331240497754.html>, 2017
10. ノースワン(株), <http://www.north-one.net/>
11. (株)共和電業, <http://www.kyowa-ei.com/jpn/>
12. CQ 出版社, 神崎康宏, 『Arduino で計る, 測る, 量る』, 2012
13. Arduino プロジェクト公式サイト, <https://www.arduino.cc/>
14. (株)日さく, <http://www.nissaku.co.jp/>
15. (株)タブレイン, 3GIM モジュール, <http://tabrain.jp/new/product/3GIM.html>
16. (株)タブレイン, 3GIM シールド, http://tabrain.jp/new/product/3GIM_SHIELD.html
17. ソニーネットワークコミュニケーションズ(株), 0SIM, <http://mobile.nuro.jp/0sim/>
18. Ambient, <https://ambidata.io/>
19. (株)パナソニック, 鉛シールド蓄電池 LC-P127R2J, <https://industrial.panasonic.com/jp/products/batteries/secondary-batteries/vrla/trickle-long-life-type-lc-p/LC-P127R2J%2528J1%2529>
20. Device Plus, 第56回 SORACOM Air×3GIMによるArduinoの3G通信 その4～Arduinoのsleepモードで省エネ実装, https://deviceplus.jp/hobby/entry_056/
21. (株)秋月電子通商, I2C 接続 RTC (リアルタイムクロック) DS1307+, <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-06949/>