

Environment Research and Technology Development Fund

## 環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

2-1907 気候変動適応を推進するための情報デザインに関する研究  
(JPMEERF20192007)

令和元年度～令和3年度

Research on Information Design to Promote Climate Change Adaptation

〈研究代表機関〉

長野県環境保全研究所

〈研究分担機関〉

農業・食品産業技術総合研究機構

福島大学

東北大学

信州大学

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ．成果の概要」の図表番号は「0．通し番号」としております。なお、「Ⅱ．成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ．成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号．通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和4年5月

## 目次

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. 成果の概要                                                                         | 1  |
| 1. はじめに（研究背景等）                                                                   |    |
| 2. 研究開発目的                                                                        |    |
| 3. 研究目標                                                                          |    |
| 4. 研究開発内容                                                                        |    |
| 5. 研究成果                                                                          |    |
| 5－1. 成果の概要                                                                       |    |
| 5－2. 環境政策等への貢献                                                                   |    |
| 5－3. 研究目標の達成状況                                                                   |    |
| 6. 研究成果の発表状況                                                                     |    |
| 6－1. 査読付き論文                                                                      |    |
| 6－2. 知的財産権                                                                       |    |
| 6－3. その他発表件数                                                                     |    |
| 7. 国際共同研究等の状況                                                                    |    |
| 8. 研究者略歴                                                                         |    |
| II. 成果の詳細                                                                        | 19 |
| II－1 マルチユーザーに配慮した情報デザインの検討<br>（長野県環境保全研究所）                                       |    |
| 要旨                                                                               |    |
| 1. 研究開発目的                                                                        |    |
| 2. 研究目標                                                                          |    |
| 3. 研究開発内容                                                                        |    |
| 4. 結果及び考察                                                                        |    |
| 5. 研究目標の達成状況                                                                     |    |
| 6. 引用文献                                                                          |    |
| II－2 精密気象分布データ作成のための高密度気象データベースの構築<br>（農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター、農業環境変動研究センター） | 38 |
| 要旨                                                                               |    |
| 1. 研究開発目的                                                                        |    |
| 2. 研究目標                                                                          |    |
| 3. 研究開発内容                                                                        |    |
| 4. 結果及び考察                                                                        |    |
| 5. 研究目標の達成状況                                                                     |    |
| 6. 引用文献                                                                          |    |
| II－3 過去の異常気象情報の整理と気候変動地域マップの作成<br>（長野県環境保全研究所）                                   | 51 |
| 要旨                                                                               |    |



1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

## II-4 改良版土砂災害警戒情報の作成 63

(福島大学)

### 要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

## II-5 凍霜害及び雨氷害早期警戒情報の作成 78

(東北大学)

### 要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

## II-6 温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準情報の作成 86

(信州大学、東京理科大学)

### 要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

## III. 研究成果の発表状況の詳細 100

## IV. 英文Abstract 109

## I. 成果の概要

課題名 2-1907 気候変動適応を推進するための情報デザインに関する研究

課題代表者名 浜田 崇 (長野県環境保全研究所自然環境部  
温暖化対策班長)

重点課題 主：【重点課題⑦】気候変動への適応策に係る研究・技術開発

副：【重点課題⑧】地球温暖化現象の解明・予測・対策評価

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） (2-6) 地方自治体向けのクラウド型気候変動影響評価ツールの開発

研究実施期間 令和元年度～令和3年度

研究経費

90,953千円（合計額）

（各年度の内訳：令和元年度：30,494千円、令和2年度：30,228千円、令和3年度：30,231千円）

研究体制

（サブテーマ1）マルチユーザーに配慮した情報デザインの検討（長野県環境保全研究所）

（サブテーマ2）精密気象分布データ作成のための高密度気象データベースの構築（農業・食品産業技術総合研究機構）

（サブテーマ3）過去の異常気象情報の整理と気候変動地域マップの作成（長野県環境保全研究所）

（サブテーマ4）改良版土砂災害警戒情報の作成（福島大学）

（サブテーマ5）凍霜害及び雨氷害早期警戒情報の作成（東北大学）

（サブテーマ6）温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準情報の作成（信州大学）

研究協力機関

研究協力機関はない。

本研究のキーワード 気候変動適応、情報デザイン、地域気候変動適応センター、情報作成の手引き、活動事例集

### 1. はじめに（研究背景等）

IPCCの第5次評価報告書や日本の気候変動影響の報告書などによると、気候変動は顕在化し、さまざまな分野においてすでに影響が現れている。また今後の緩和策の努力とは関係なく2050年頃までは気温上昇は続くと言われている。このような状況から国内外において気候変動への適応が必要とされており、2015年にはパリ協定の発効、2018年には「気候変動適応計画」の閣議決定、気候変動適応法が公布・施行されている。気候変動の影響は、地域の自然条件や社会経済的な状況により異なるた

め、自治体が中心となって地域の実情に応じて適応策を進めることが重要であるとされている。2018年の気候変動適応法の施行を受け、努力義務ではあるものの、地域気候変動適応計画の策定や地域気候変動適応センター（以下、LCCAC）の設置は年々進んできた。地域気候変動適応計画の策定に際しては、「地域気候変動適応計画策定マニュアル」や計画策定ガイドマップなどの資料が気候変動適応情報プラットフォーム（以下、A-PLAT）から提供されており参考となる。一方、LCCACはその活動（気候変動影響及び気候変動適応に関する情報の収集、整理、分析及び提供並びに技術的助言を行う）が気候変動適応法に示されているものの、具体的にどのような情報を収集し、整理、分析をすればよいかなど参考となるものはまだ存在していない。

気候変動適応を推進するためには科学的知見は不可欠である。気象庁は全国各地の気象台やアメダス等における観測データをホームページから公開し、温暖化予測情報などの将来気候予測情報の提供も可能としている。また、環境省や文部科学省等により気候変動影響予測と適応策に関するプロジェクト研究が進み、その研究成果として気候変動予測や分野毎の影響の情報もA-PLAT等から提供されるように整備が進められてきた。

しかし、自治体における適応策の社会実装はまだ十分に進んでいないのが現状である。これは、さまざまな理由が考えられるが、気候変動に関する情報がそれを必要とする人達にとって必ずしも使いやすい情報になっていないことが要因の一つであると考えられる。気候変動に関する情報の作成はまさにLCCACに求められている活動そのものであるが、多くのLCCACにおいては気象や気候変動の専門家がいないうちで活動を行っており、そうした情報の作成自体が最大の課題ともなっている。

## 2. 研究開発目的

本研究では、この課題の解決を目指し、気候変動適応に必要な種々の情報を、適応策の実施主体にとって価値のある、使いやすい情報となるような情報デザインを開発する。そしてLCCACが適応策を推進するために行う情報の収集・整理・分析の活動の参考となる情報作成の手引きを作成することを目的とする。なお、本研究では、情報の収集およびリスクコミュニケーションの体制が既に整っている長野県をモデル地域として研究を行うこととする。

本研究では、地域の気候変動適応を推進するために必要な情報デザインの開発を行う。一般的に情報デザインとは、情報のユーザーにとって価値のある、使いやすい情報へと変換する作業もしくはそのプロセスのことを意味するが、本研究ではLCCACがそれらの情報の収集・整理・分析を通じて気候変動情報を作成する一連の流れのことを気候変動情報の情報デザインとして定義し用いることとする。情報デザインを開発するためには、求められている情報とは何か、その情報を作成するにあたっての課題は何かを特定し、さまざまなステークホルダーとのリスクコミュニケーションを踏まえながら進める必要がある。そのようにして開発された情報デザインを整理し、LCCACが活動の参考となるような情報作成の手引きを作成する。また開発した情報やツールのプロトタイプをクラウド上で公開することを目指す。

本研究は6つのサブテーマから構成される。サブテーマ1では、さまざまな気候変動情報（以下のサブテーマ2～6で開発される情報を含む）を、リスクコミュニケーションの場を活用して、その情報デザインを検討し、情報作成の手引きとしてまとめる。サブテーマ2では、地域で収集された高密度気象情報を用いたデータベースを整備する。サブテーマ3では、過去の主要な異常気象の再現計算を行い、サブテーマ2で整備した情報を活用し地域の気候変動マップを作成する。サブテーマ4では、豪雨および融雪を対象とした土砂災害リスクモデルを用いて、土砂災害警戒区域における発生確率等の情報を作成する。サブテーマ5では、農作物の凍霜害および森林の雨氷害を対象として、週間アンサンブル予報から確率情報をつけた凍霜害、雨氷発生の短中期リスク情報を作成する。サブテーマ6では、教員が屋内外における児童の熱中症予防の判断基準となる情報を作成する。

本研究の成果は、LCCACの活動を大きく支援することが期待される。この成果を活用することで、地域気候変動適応計画策定をはじめ、自治体の気候変動適応策の社会実装に役立つと考える。

### 3. 研究目標

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 全体目標               | 地域の気候変動適応を推進するため、多種多様な気候変動情報や現場のデータを、適応の主体となる情報のユーザーにとって価値のある、使いやすい情報へと変換する（デザインする）方策を提示する。                                                                                                                                                                          |
| サブテーマ1             | マルチユーザーに配慮した情報デザインの検討                                                                                                                                                                                                                                                |
| サブテーマリーダー<br>/所属機関 | 浜田 崇／長野県環境保全研究所                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 目標                 | 既存の気候変動に関する情報を、地域気候変動適応センターや地方自治体が使いやすい情報へとデザインする。サブテーマ2～6で開発される情報を、それぞれのユーザーが使いやすい情報とするため、ワークショップ等のリスクコミュニケーションの機会を提供し、情報デザインのサポートを行う。情報の収集からデザインされた成果の作成にいたるまでをガイドラインとしてまとめる。                                                                                      |
| サブテーマ2             | 精密気象分布データ作成のための高密度気象データベースの構築                                                                                                                                                                                                                                        |
| サブテーマリーダー<br>/所属機関 | 石郷岡康史／農業・食品産業技術総合研究機構                                                                                                                                                                                                                                                |
| 目標                 | 長野県をモデル地域とし、気象庁を含む複数の機関により観測された気象データを収集し、気象庁で定めている観測や統計に関する指針に従い品質管理や統計処理法の均質化を図る。地域スケールでの気候変動影響評価や適応技術の社会実装への利用に適した、空間的に高密度かつ高精度の気象データベースを作成する。観測データと併せて観測地点のメタ情報も整備し、ユーザーが利用しやすい形式で気象データが提供できるツールを作成する。                                                            |
| サブテーマ3             | 過去の異常気象情報の整理と気候変動地域マップの作成                                                                                                                                                                                                                                            |
| サブテーマリーダー<br>/所属機関 | 栗林正俊／長野県環境保全研究所                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 目標                 | 長野県内で過去に発生した災害や異常気象を整理して、気象現象毎に関連するサブテーマと情報を共有する。1980年以降の40年間については、気温、雨、雪の3項目に分けて数値モデルで過去の極端現象の再現実験や感度実験により発生機構を解析する。また、サブテーマ2から提供される高密度気象データベースと数値モデルの再現計算結果を併用して空間分布図として可視化し、年代別に経年変化が分かりやすい形にデザインしてサブテーマ1に提供するとともに、信州気候変動適応センターのホームページで行政担当者や県民に向けて分かりやすく情報を発信する。 |
| サブテーマ4             | 改良版土砂災害警戒情報の作成                                                                                                                                                                                                                                                       |
| サブテーマリーダー<br>/所属機関 | 川越清樹／福島大学                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 目標                 | 豪雨に対する土砂災害発生リスクモデルを融雪も対象にできるモデルへと改良し、土砂災害を誘発する気象状況のリスクを統合化して評価することで、土砂                                                                                                                                                                                               |

|  |                                                                                                            |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 災害警戒区域毎のリスクのデータベースを開発する。また、この開発されたデータベースの情報を、モデル市町村と共有し、土砂災害の適応策に利用できる情報へ改良し、この情報およびツールのプロトタイプをクラウド上で公開する。 |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                    |                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| サブテーマ 5            | 凍霜害及び雨氷害早期警戒情報の作成                                                                                                                                                                                   |
| サブテーマリーダー<br>/所属機関 | 山崎 剛／東北大学                                                                                                                                                                                           |
| 目標                 | 農作物に関する凍霜害および森林の雨氷害と気象状況との関係性を、凍霜害については植生熱収支モデルを用い、雨氷害については大気数値モデルを用いて明らかにする。気象庁の週間アンサンブル予報から、確率情報をつけた凍霜害、雨氷発生の中短期リスク情報を作成する。開発した凍霜害、雨氷発生リスク情報提供手法について、ユーザーを通じた試行と改良を加え、その成果とツールのプロトタイプをクラウド上で公開する。 |

|                    |                                                                                                                                              |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| サブテーマ 6            | 温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準情報の作成                                                                                                              |
| サブテーマリーダー<br>/所属機関 | 中谷岳史／信州大学                                                                                                                                    |
| 目標                 | 学校における教室内および屋外の温熱環境計測と人体熱モデルの解析から、学校側が判断できる熱中症判断基準情報を作成する。また、教室内の熱中症リスク回避と冷房運転に伴う学校の電力供給限界をあわせて判断できるようなツールと教室内での熱中症リスクを自発的に回避するためのデバイスを開発する。 |

#### 4. 研究開発内容

本研究では、上記の目的と目標を達成するため、各サブテーマにおいて以下の研究開発を行う。

サブテーマ1では次の4つの研究を実施する。①気候変動に関する情報を作成する立場にあるLCCACやそれらの情報を受け取る自治体関係者などを対象に、これまで実施されてきた意見交換会での意見やアンケート結果を参考にしながら、かつLCCACへのアンケート調査およびヒアリング調査を行い、求められている気候変動情報とは何か（ニーズ）とその情報作成にあたっての課題を抽出する。②既存の気候変動に関する情報や新たに収集する情報などを用いて、①で得られた情報作成の課題へ対応できるような情報デザインの検討を行う。サブテーマ1を担当する長野県環境保全研究所は長野県の地域気候変動適応センター（信州気候変動適応センター）であることから、センターとして実施した情報の収集・整理・分析を情報デザインの分析事例とする。③サブテーマ2～6で開発される情報作成を進めるため、開発に必要な情報の収集と提供、サブテーマ毎に関係者とのリスクコミュニケーションの場を必要に応じて設定するなどの研究推進にあたりサポートを行う。④②およびサブテーマ2～6で作成された情報を情報デザインとしてとりまとめ、LCCACがその活動として参考となるような情報作成の手引き（案）を作成する。

サブテーマ2では、まず長野県内およびその周辺地域に設置されている、気象庁を含む様々な管理運営主体の異なる機関による気象観測所における実測データを収集する。同時に、機関毎に観測所メタ情報を整備し、観測方法や観測地点の位置情報、周辺の地形や土地利用情報を系統的に整備する。収集したデータのうち気象庁以外のデータについては、気象庁の気象観測統計指針に従い、観測データの品質管理と必要な修正や補正、再統計を行い、全てのデータの均質化を図る。また、全ての実測データについて共通書式により統一規格化し、高密度気象データベースを作成する。ユーザーによるデータへのアクセスは、視覚的に把握できるように地図ベースのプラットフォームを通して行えるよ

うにする。同時に、詳細な数値データに関しては、表形式で取りまとめて外部公開用のWebサイトを作成する。

サブテーマ3では、過去の異常気象の情報整理と異常気象事例の解析および長期再現計算による気候変動地域マップの作成を行う。長野県内で過去に発生した気象災害について資料を収集し、災害タイプや発生地域、被害額などに応じて整理する。ただし猛暑については、災害タイプとして分類されていないため、気象観測値や熱中症緊急搬送者数のデータを用いて異常気象の事例を抽出する。異常気象として抽出された事例の中から、気象庁等の気象観測値と非静力学地域気象モデルWRF (Weather Research and Forecasting model)を用いた再現計算結果を比較・検証した上で、感度計算と再現計算の差から豪雨や猛暑の事例に寄与する山岳や盆地、都市の影響を定量的に評価する。また、既存の長期再現計算は結果を利用して、気候変動地域マップを作成する。

サブテーマ4では次の4つの研究を実施する。①気温上昇に伴う融雪および融雪時に生じる降雨も含めたRoS(Rain on Snow)による気象条件を求め、この気象条件を気候モデル(計8モデル)にあてはめて、現在、近未来、将来の融雪期における換算降水量を求める。②この融雪期の換算量を用いることで融雪を対象とした土砂災害リスクモデルを開発し、長野県における土砂災害警戒区域の土砂災害発生リスクを導出する。③開発した融雪を対象とした土砂災害リスクモデルと既存の豪雨を対象としたモデルの結果から、土砂災害リスクを統合化し、土砂災害警戒区域ごとのリスクのデータベースを開発する。④開発された土砂災害リスクのデータベースを用いた図化事例やおよび利活用例を示す

サブテーマ5では、農作物に関する凍霜害、森林の雨氷被害を対象として、週間アンサンブル予報から、確率情報をつけた凍霜害、雨氷発生の短中期リスク情報を作成する。サブテーマ3の協力のもと、凍霜害、雨氷害の事例を収集し、凍霜害、雨氷害をもたらす気象状況を調べ、被害との関係性を明らかにする。凍霜害については、気象データを入力して植生の温度や濡れ、霜などをシミュレーションできる植生熱収支モデルに、アメダスや長野県保有の実測気象データを入力して、凍霜害の発生機構を明らかにする。長野県の農業試験場や気象庁気候情報課などの関係者に聞き取りを行い、ニーズの把握や入手可能なデータの調査などを進める。植生熱収支モデルに領域再解析データを用いて、凍霜害発生を評価する。気象庁の週間アンサンブル予報から、凍霜害、雨氷発生の確率的な短中期リスク情報を提供する手法を研究する。雨氷については2016年1月29日の雨氷を対象として、数値モデルにより大気場の特徴を明らかにし、雨氷を生じさせる寒気の由来を研究する。

サブテーマ6では、学校における教室内および屋外の温熱環境計測と人体熱モデルの解析から、学校側が判断できる熱中症判断基準情報を作成する(①②)。また、教室内の熱中症リスク回避と冷房運転に伴う学校の電力供給限界をあわせて判断できるようなツールと教室内での熱中症リスクを自動的に回避するためのデバイスを開発する(③)。①夏季に高校教室の室内温熱環境の実測調査を行い、熱的快適性の受容範囲の算出と体温調節行動の適応限界を検討する。また夏季に小学校教室の室内温熱環境と主観申告調査を行い、熱的快適性の受容範囲と熱中症リスクに関係する温熱指標を算出する。さらに、人体熱モデルによって熱中症の危険水準を解析的に検討し、温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準を検討する。なお主観申告とあわせてバイタルサインの取得を計画していたが、現場関係者の同意が得られず実施できなかった。また新型コロナウイルス感染症の影響のため保育園および中学校の調査を実施できなかった。②気象台の気象データから任意の小学校の地点における熱中症リスク判定の妥当性の検証と、小学校校庭の熱中症リスクの分布の実測とから、小学校校庭の屋外環境における熱中症予防の検討を行う。③熱中症リスクの伝達を行うため2つの表示デバイスの開発を行う。1つはWBGTに基づいた熱中症リスクを軽減するための穏やかな情報通知デバイスであり、もう1つは外気温度の履歴を説明変数にした受容範囲に基づく指標表示デバイスである。なお当初開発予定であった各教室における消費電力の把握は小学校校長へのヒアリングから必要ないとの意見があったため開発は実施しなかった。④新型コロナウイルス感染症の影響で保育園や中学校の調査を実施できず、調査リソースに余剰が生じたことから、建物断熱解析を追加的に実施した。気候変動が学校建築を通して児童の熱中症リスクや熱的快適性、エネルギー消費に及ぼす影響の検討に一部着手した。

## 5. 研究成果

### 5-1. 成果の概要

サブテーマ1（マルチユーザーに配慮した情報デザインの検討）

気候変動適応の推進に必要な気候変動に関する情報の作成について、さまざまなステークホルダーとの意見交換（リスクコミュニケーション含む）を通じてその情報デザインを検討し、LCCACが活動の参考とすることができるような情報作成の手引きとしてまとめることを目的として以下の4つの研究を行った。なお、本研究においては情報の収集・整理・分析により気候変動情報を作成することを気候変動情報の情報デザインとして定義する。

①気候変動に関する情報を作成する立場にあるLCCACやそれらの情報を受け取る自治体関係者などへのアンケート調査やヒアリング調査等から、求められている気候変動情報とは何か（ニーズ）（表1.2）とその情報作成にあたっての課題を抽出した。ニーズを分類毎にみると、多い方から「影響予測」、「気候予測」、「これまでの気候変動と影響」と続いた。その中で「市町村スケール」の気候変動予測および影響予測情報に対するニーズがとりわけ高かった。

表 1.2 求められている気候変動情報

| 情報の種類        | 求められている情報         | 数  |
|--------------|-------------------|----|
| これまでの気候変動と影響 | 地域の気候の特徴          | 2  |
|              | 地域の気候変動の実態        | 4  |
|              | 過去の異常気象や災害        | 3  |
|              | 地域の気候変動影響         | 5  |
| 気候予測         | 気候変動予測            | 3  |
|              | 市町村スケールの詳細な気候変動予測 | 14 |
|              | 短期的な予報            | 1  |
| 影響予測         | 各分野における影響予測       | 11 |
|              | 市町村スケールの詳細な影響予測   | 10 |
|              | リスク情報・被害額         | 3  |
| 影響評価と適応策     | 優先順位              | 5  |
|              | 適応策のコスト           | 3  |
|              | 適応策の進捗管理指標        | 2  |
| その他資料        | 関係部局への説明資料        | 6  |
|              | 県民・市民への普及啓発資料     | 3  |
|              | 民間事業者への提供資料       | 2  |

また、各LCCACで実施している適応に関する情報の収集から提供までの活動事例とそれに関わる課題等について、アンケート調査（25箇所）およびヒアリング調査（32箇所）を行った。LCCACの抱える課題としては、主に何を行えば良いのかわからないといった課題や、データ収集や観測方法、アンケート調査など収集のやり方、将来予測情報の研究や活用方法、個別課題の分析事例など研究内容について、データの扱い方や計算など分析手法に関するものがあった。その他の課題としては「他センターの活動事例を具体的に知りたい（ノウハウを共有させていただきたい）」や「普及啓発」についての内容がとて多くみられた。

さらに、複数の基礎自治体の気候変動適応計画等の策定支援を行う過程において、基礎自治体が求める情報について担当者より意見をききとった。いずれの市町においても、区域内における気候変動の実態や区域で切り出された気候変動の将来予測や影響評価のマップの情報を求めている。

以上の結果から、気候変動適応を推進するにあたっては、求められている気候変動の情報をどのように作成すればよいか、という情報デザインが必要になると考えられた。



②既存の気候変動に関する情報や新たに収集する情報などを用いて、①で得られた情報作成の課題へ対応できるような情報デザインの検討を行った。具体的には信州気候変動適応センターの活動として実施した気象データの収集整理（図1.2）、気候変動予測情報のGIS情報化、市町村や県民向けアンケート調査による地域課題の収集、生態系への影響評価情報の作成などを行った。一部の成果は適応センターのホームページやA-PLATから公開された。

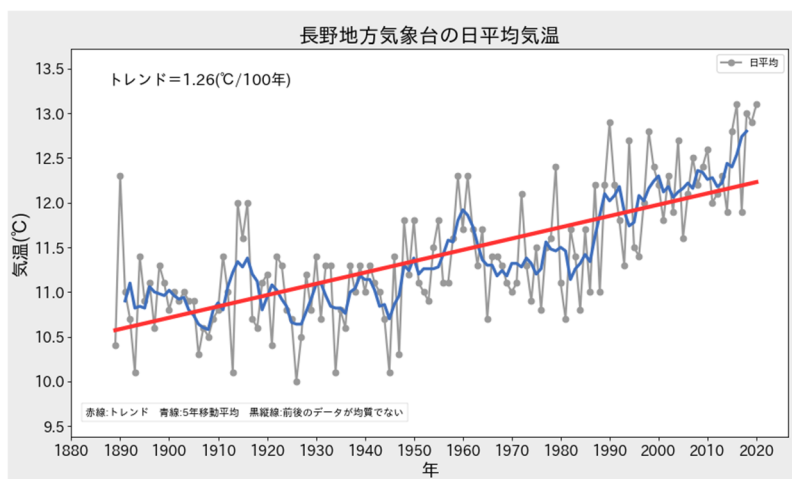


図 1.2 気象データの経年変化グラフの一例（年平均気温の変化）

③サブテーマ2～6で開発される情報作成を進めるため、開発に必要な情報の収集と提供、サブテーマ毎に関係者とのリスクコミュニケーションの場を必要に応じて設定するなどの研究推進にあたりサポートを行った。

④②およびサブテーマ2～6で作成された情報を情報デザインとしてとりまとめ、LCCACがその活動として参考となる「気候変動適応に係る情報作成の手引き（案）～情報収集・整理・分析のための情報デザイン～」を作成した。また①のヒアリングの中でも多かった他のLCCACの活動事例を参考にしたいとの意見に対応するため、追加的にLCCACの活動事例集を作成した（図1.14）。いずれもLCCACに対して公開準備が整った。



図 1.14 LCCAC活動事例集の見本

サブテーマ2（精密気象分布データ作成のための高密度気象データベースの構築）

地域を対象とした気候変動影響を適切に評価するためには、長期且つ高密度で時空間的に均質な気象データが必要不可欠である。長野県においては気象庁の設置している観測点に加えて長野県や国土交通省により高密度な観測が比較的長期間実施されているが、管理運営主体が異なる気象観測データ



はデータの書式や地点管理の方法がそれぞれで異なり、これらのデータを横断的に利用することが難しい状況である。この問題を解決するため、本サブテーマでは気象庁を含む複数の機関により観測された気象データを、品質管理や統計処理法の均質化を図り、ユーザーが利用しやすい形式でデータベース化することを目指す。研究のフローを図2.1に示す。

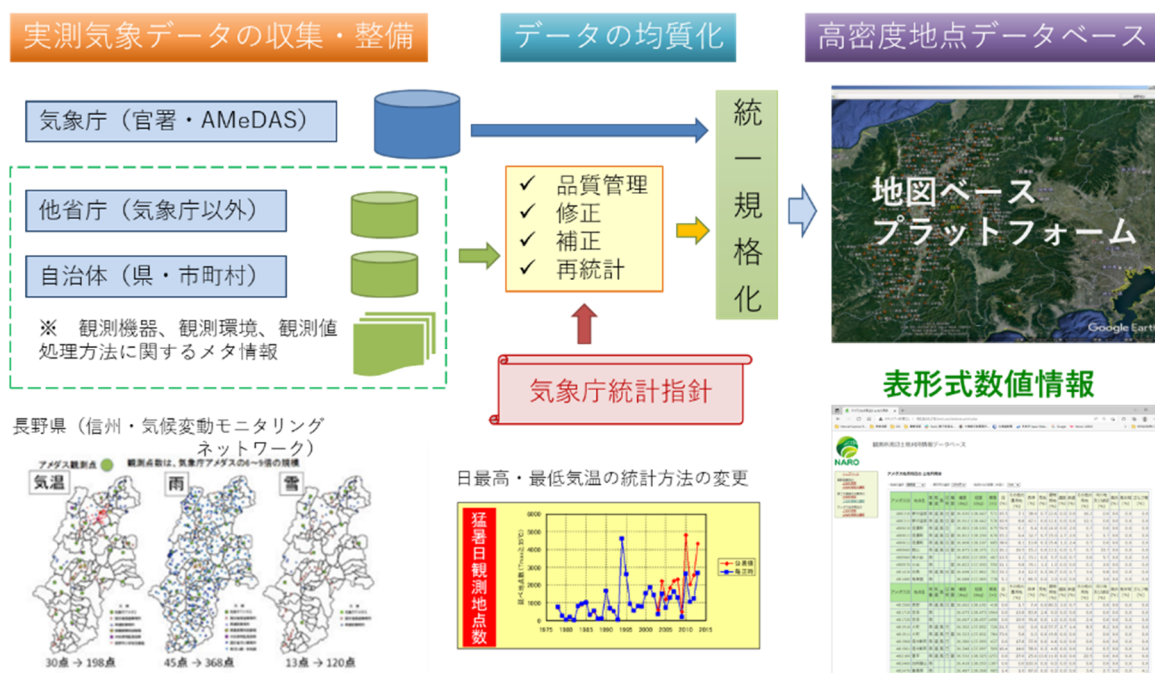


図2.1 研究の全体フロー

先ず長野県内の気象庁を含む複数の機関による気象観測の実態を調査し、各機関による実測気象データおよび観測地点等に関するメタデータの収集整備を行う。観測データは全て統一フォーマットに変換し、地点情報も一元的な管理が可能になるよう系統的に整備した。長期気候変動解析への利用を想定し、観測期間や欠測情報、地点移動、観測点周辺土地利用の変化に関する情報を、全地点に関して整理した（図2.4）。

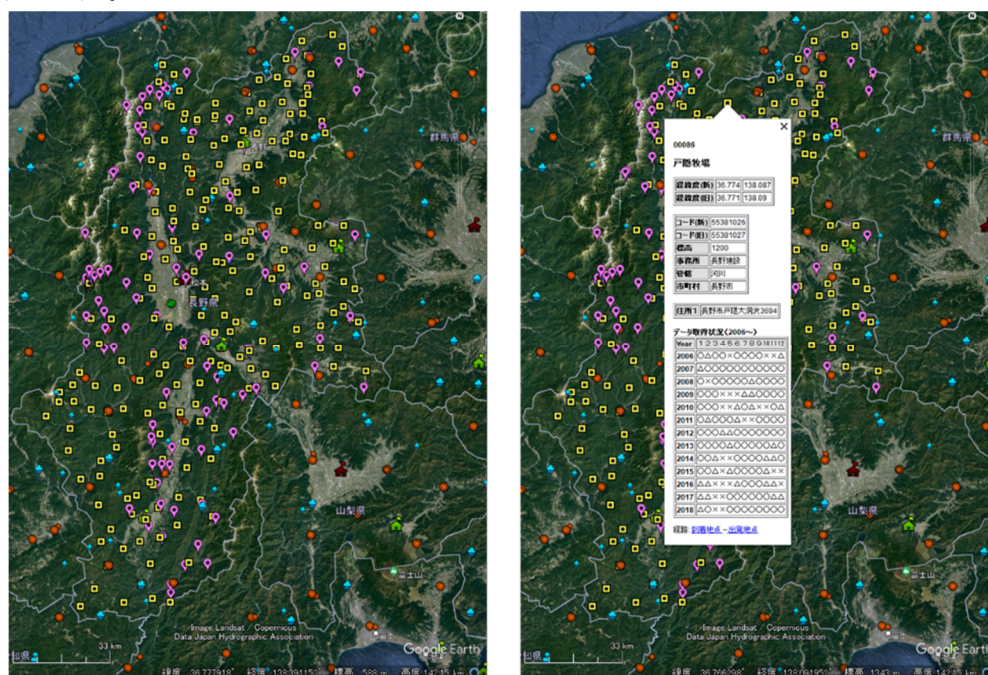


図2.4 Google Earth上にプロットした各機関による観測地点  
(Google Earth 画像を複製)

これらの情報は地図ベースのプラットフォームに登載できるようにKML化し、Google Earth上で地点間の位置関係等が視覚的に確認できるようにした。また、Google Earth上で地点をクリックすると観測項目や観測期間、欠測情報といった詳細な地点情報が表示され、ユーザーが目的とするデータにたどり着くまでの負担が大きく軽減されることが期待される。また、共通フォーマット化された実測データは地点管理情報とリンクし、作成したデータ検索ツールにより時期や範囲を指定した横断的なデータ抽出が可能となった。一例として、図2.9に、長野県に大きな洪水被害をもたらした2019年10月の台風19号通過時の日降水量の抽出結果を示す。連続3日間の日降水量を示し、機関毎に異なるシンボルで表示した。大量の降水がもたらされた10月12日を見ると、東部で降水量が非常に多くなっているが、地域毎の空間的に詳細な分布状況が明確に把握することができる。同様に、一定期間の積算降水量や、特定の流域や行政区画のデータのみを抽出することも可能であり、データの入手に係る負担が大きく軽減されることが期待される。

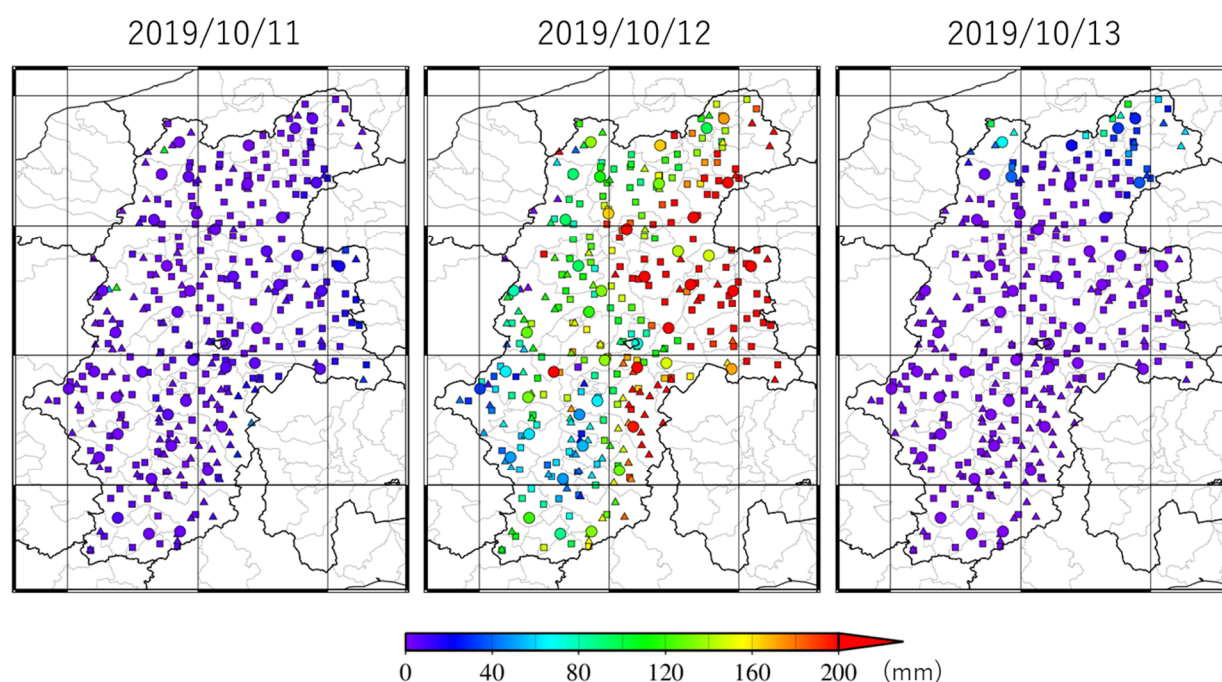


図2.9 全観測点における日別降水量 (mm) の分布 (2019年10月台風19号通過時の例)  
(○ : アメダス、△ : 国土交通省、□ : 長野県)

### サブテーマ3 (過去の異常気象情報の整理と気候変動地域マップの作成)

本研究は、長野県で発生した異常気象と気象災害に関する情報整理、顕著な極端現象の事例に関する発生機構の解析、地域の気候変動の詳細な実態を表現した気候変動地域マップの作成、を目的とした。異常気象と気象災害については、観測データ解析と文献調査に基づいて1945～2020年の情報を整理し、各気象現象に関してサブテーマ4, 5, 6と共有した。長野県における1945～2020年の気象災害による死者・行方不明者数の内訳では、1位が台風で30%、2位が梅雨前線豪雨で27%、3位が雪害で19%を占める。また、年間最高気温が最も高かったのは1994年8月16日の38.7℃、2番目は1942年8月15日の38.6℃、3番目は2018年8月22日の38.5℃で、この3事例が突出している。豪雨災害と同様に猛暑による熱中症リスクも気候変動により高まっていると考えられる。

また、気候変動に伴い激甚化や頻発化が懸念される豪雨と猛暑について顕著な事例を抽出したところ、2019年10月の令和元年東日本台風に伴う豪雨と2018年8月の猛暑が洗い出され、これらの事例を対象に地域気象モデルで再現計算と感度計算を実施して発生機構を解析した (図3.7)。この結果、東日本台風の豪雨事例では、山岳が長野県南部の降水現象を抑制したが、長野県北部の降水現象を助



長したことが示された。このことは、それまでに長野県で言われていた「山岳に囲まれた長野県は台風の影響を受けにくい」という通説を覆し、台風のコースや強度によっては山岳があることで降水量が増加して災害リスクが高まることもあるということを明らかにした。

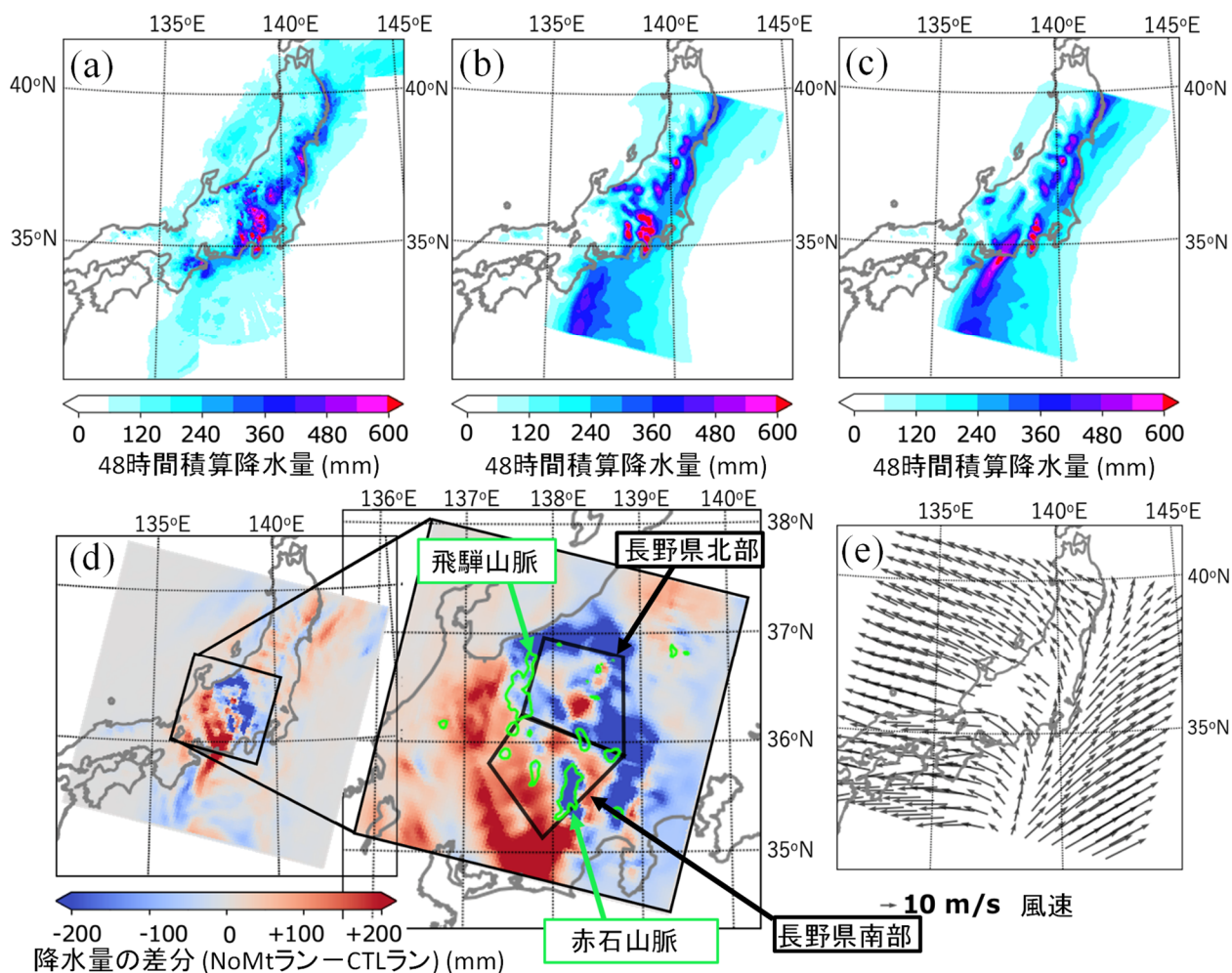


図3-7 (a)解析雨量、(b)CTLラン、(c)NoMtラン、による2019年10月11日0時(UTC)～13日0時(UTC)の48時間積算降水量の空間分布。(d)NoMtランからCTLランを引いた48時間積算降水量の差分。緑線は標高1800 mの等高線。(e)CTLランの850hPa面の水平風の空間分布。

2018年8月の猛暑事例については、一般的によく知られた降水を伴うフェーン現象とは異なり、山岳の風下に発生した下降気流に乗って高温位の気塊が降りてくることで断熱的に加熱された気塊と、関東平野の地表付近を通過しながら地表面からの顕熱により非断熱的に加熱された気塊が、長野盆地で合流したことに加え、長野市のヒートアイランド現象も作用して、複合的な要因で発生していたことが明らかになった。

気候変動地域マップは2通りの方法で作成し、1つは1980年以降の各年代について最も顕著な豪雨事例を抽出してサブテーマ2から提供された長野県の高密度気象データベースと数値モデルの再現計算結果に基づきマップ化する形で、もう1つは各気象要素について1981～2015年の35年間の経年的な変化率を数値モデルの再現計算結果に基づきマップ化する形とした。前者については、豪雨発生時に1度に降る降水量が近年になるほど増加している実態を視覚的に分かりやすく表現することができ、世の中で言われている気候変動に伴う豪雨の激甚化・頻発化は長野県においても例外ではないことを明示することができた。後者については、長野県とその周辺地域でほぼ一様に気温が上昇して、日本海や太平洋の沿岸域では雪が雨に変わり降雪量が減少して降雨量が増加する傾向にあるものの、長野県

を含む内陸域においては降雪量や積雪深は減少しておらず、むしろ標高2000 mを超える山岳においては降雪量が増加して降雨量が減少する傾向にあることが示された。

#### サブテーマ4（改良版の土砂災害警戒情報作成）

まず気温上昇に伴う融雪および融雪時に生じる降雨も含めたRoS(Rain on Snow)による気象条件を求め、この気象条件を気候モデル（計8モデル）にあてはめて、現在、近未来、将来の融雪期における換算降水量を求めた。既存の豪雨に対する土砂災害発生リスクモデルに融雪期の換算降水量を用いて融雪も対象にできるようにモデルを改良開発し、土砂災害を誘発するマルチな気象事象のリスクを導出できるモデルとして構築した。このモデルの結果として土砂災害警戒区域におけるリスクマップを作成した（図4.8）。

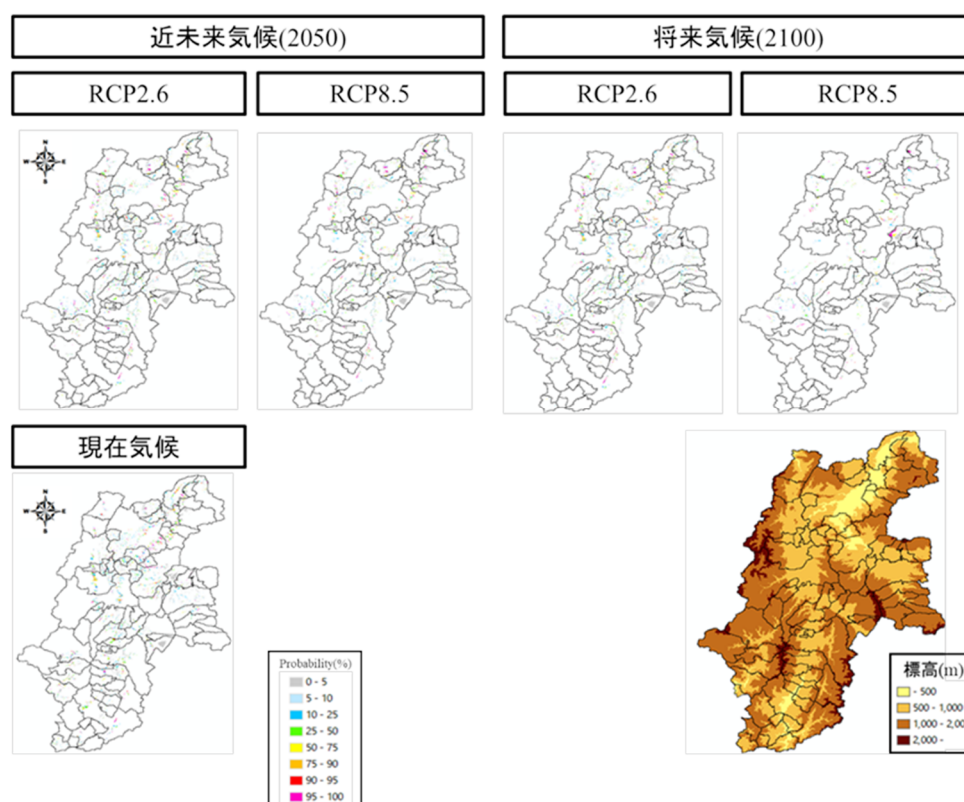


図4.8 土砂災害警戒区域のリスクマップ

また、マルチな気象事象に対応できるリスク値を統合化するように、被災リスクの伴う危険地域である土砂災害警戒区域の情報を基に土砂災害リスクのデータベースを開発した。なお、この開発されたデータベースの情報を、モデル市町村と共有し、土砂災害の適応策に利用できる情報へ改良加工して、この情報およびツールのプロトタイプをクラウド上で公開できるものにした。データベースの図化事例として3次元化した情報にリスク値を示し（図4.15）、利用事例としてUAVを用いた緻密情報との重複によるモニタリング案も示した。

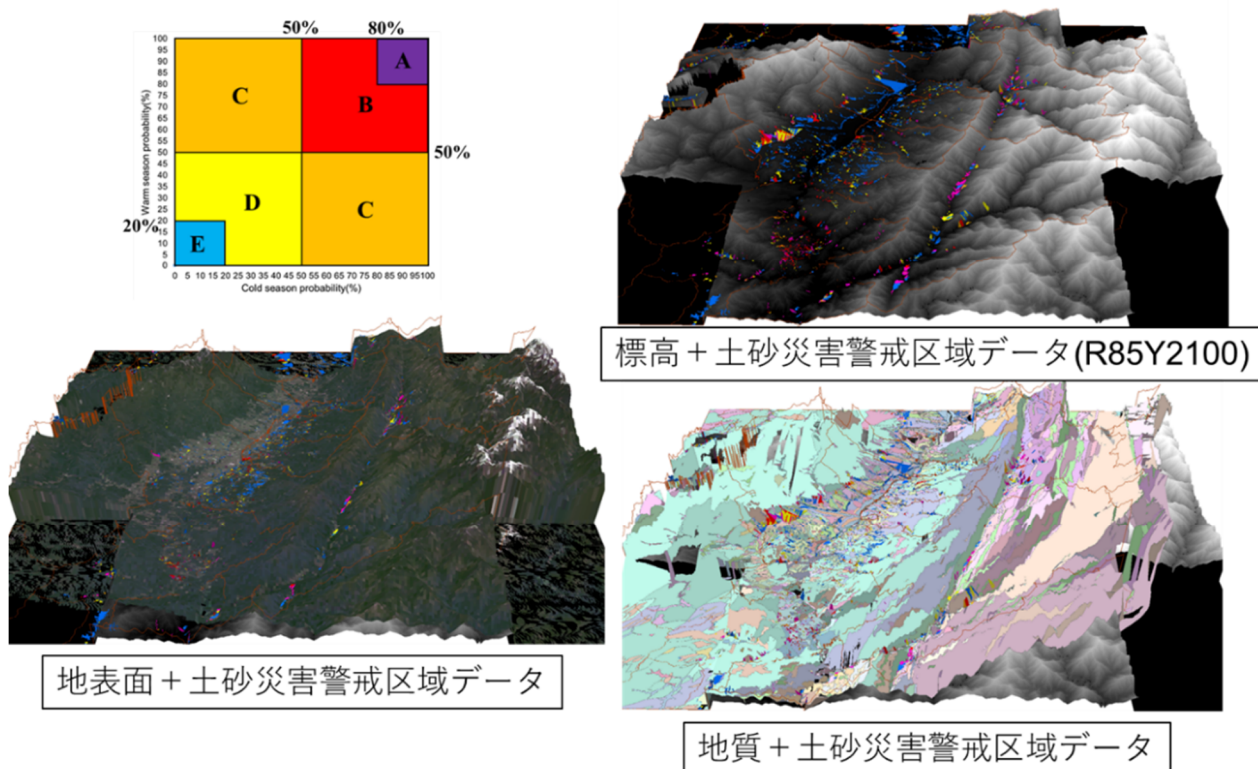
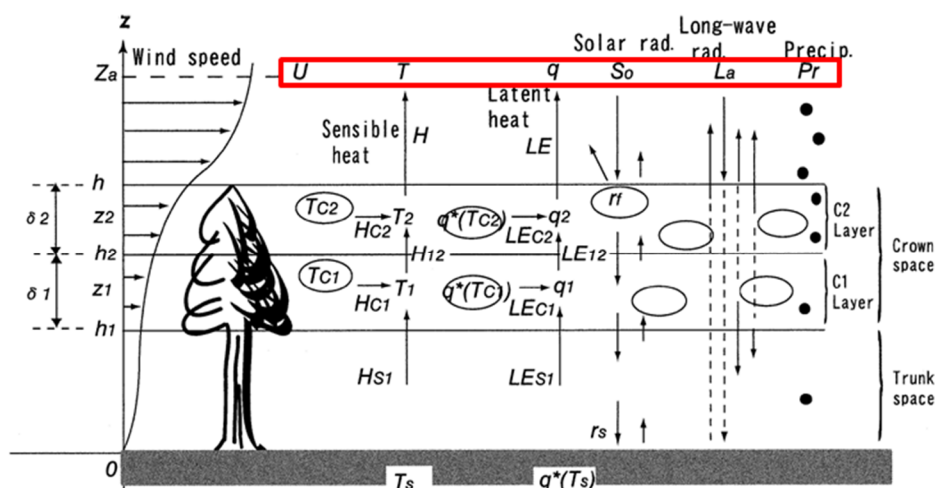


図4.15 長野市全体を3次元化した土砂災害リスクマップ

## サブテーマ5（凍霜害及び雨氷害早期警戒情報の作成）

農作物に関する凍霜害、森林の雨氷被害を対象として、週間アンサンブル予報から、確率情報をつけた凍霜害、雨氷発生の中長期リスク情報を作成することを目的とし、凍霜害・雨氷害の気象状況と被害の関係解明と、短期リスク情報提供手法について試行と改良を行った。霜の発生を植生熱収支モデル（図5.2）により再現できることを確かめ、霜の予測に下向き長波放射が重要であることを示した。

図5.2 植生熱収支モデル2LMの概略図<sup>1)</sup>

週間アンサンブル予報から、霜の確率的な危険度情報を提供するサンプルを作成した。図5.5に霜が観測されモデルでも予測された4月23日、観測はされずモデルのみが霜を予測した22日、霜注意報は発令されたが観測・モデルともに霜がなかった20日についての検証結果を示す。それぞれ1日前から7日前までのアンサンブル予報のデータを用いて、予報時間の長さによる霜の発生推定の変化を評価した。4月23日については、予報時間が長くなっても、全メンバーで葉面温度が  $0^\circ\text{C}$  を下回り、そ



のほとんどで霜の発生を推定した。4月22日については、一部で葉面温度が  $0^{\circ}\text{C}$  を下回らず、霜の発生を推定しなかった。4月20日は予報時間が長くなってもそのほとんどで葉面温度が  $0^{\circ}\text{C}$  を下回らず、凍霜害の危険度も低くなった。

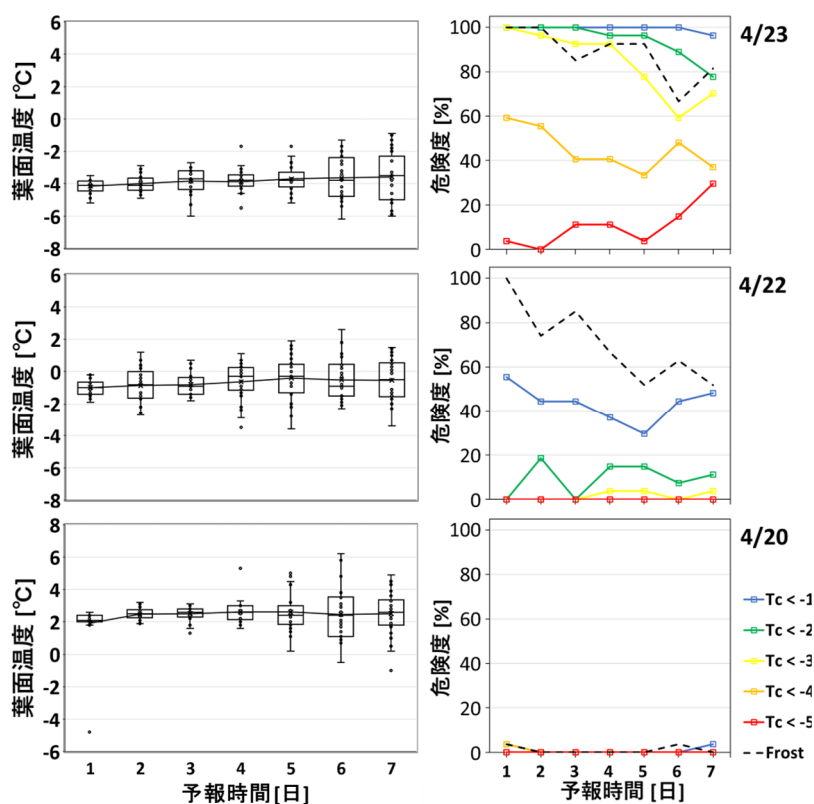


図5.5 予報時間による最低葉温と凍霜害の危険度。左：折れ線は最低葉温平均値の推移。箱ひげ図は各メンバーのばらつき。右：破線は霜予測したメンバーの割合、色は葉温が右下凡例以下となったメンバーの割合。上：4月23日、中：4月22日、下：4月20日。

雨氷については数値モデルにより、寒気の移動を定量的に評価できるようにした。また、雲物理過程のあるパラメータに着目することにより、雨氷の発生リスクを予測できる可能性があることを示した。

#### サブテーマ6（温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準情報の作成）

学校における教室内および屋外の温熱環境計測と人体熱モデルの解析から、学校側が判断できる熱中症判断基準情報を作成する（①②）。また、教室内の熱中症リスク回避と冷房運転に伴う学校の電力供給限界をあわせて判断できるようなツールと教室内の熱中症リスクを自発的に回避するためのデバイスを開発する（③）。

①夏季に高校教室の室内温熱環境の実測調査を行い、熱的快適性の受容範囲の算出と体温調節行動の適応限界を検討した。また夏季に小学校教室の室内温熱環境と主観申告調査を行い、熱的快適性の受容範囲と熱中症リスクに関する温熱指標を算出した。その結果、断熱性能、日射遮蔽性能の低い建物では、室内温熱環境が熱中症リスクの高い水準になる場面があること（図6.12）、着衣調節は熱的快適性の調節で行われ、 $30^{\circ}\text{C}$  近辺では下限値に達していることが確認された。

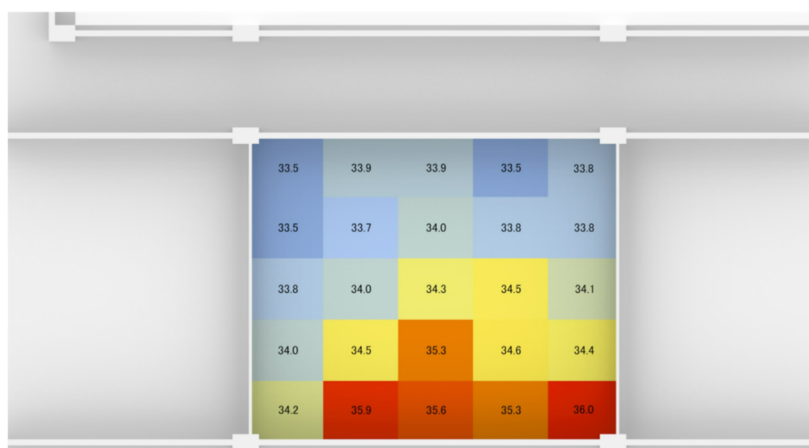


図6.12 教室のWBGT分布

また、生徒の要望する温熱環境を教員が予測することは難しいこと、生徒は滞在する温熱環境を“今のままでよい”と回答する割合が多いことが明らかになった（図6.11）。

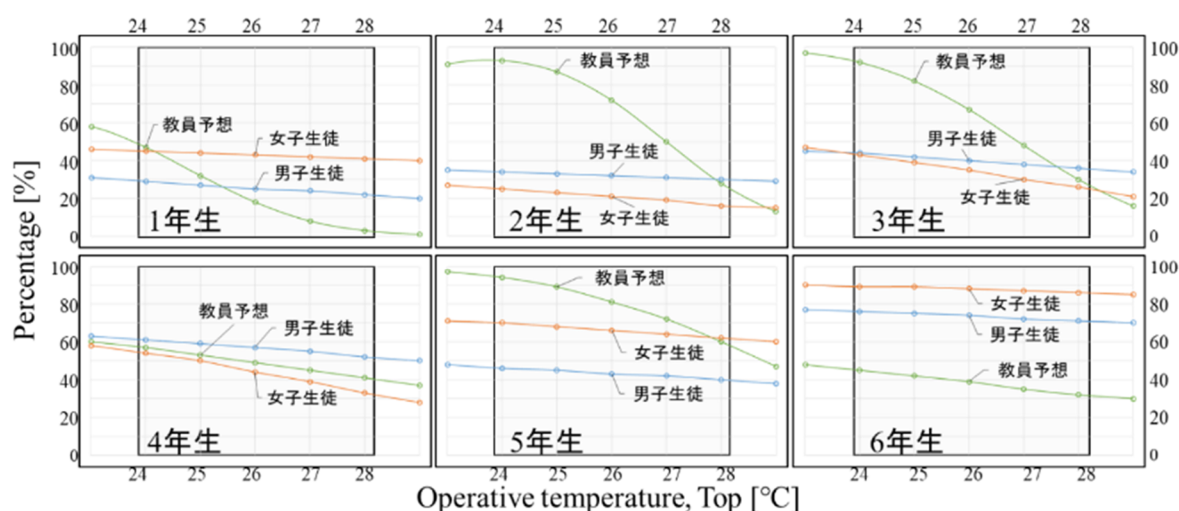


図6.11 教室の室内作用温度と選好感で今のままでよいを選択した割合

さらに、人体熱モデルによって熱中症の危険水準を解析的に検討し、温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準を検討した。その結果、熱中症リスクの高い温度水準でも温熱知覚は“温かい-暑い”相当であり、極端な熱的不快を感じない可能性が示唆された。熱中症判断基準は、WBGT (ISO 7243) と受容範囲 (ISO 17772-2) の2指標が熱ストレスの実態を反映しており、運用しやすいことから推奨される。

②気象台の気象データから任意の小学校の地点における熱中症リスク判定の妥当性の検証と、小学校校庭の熱中症リスクの分布の実測とから、小学校校庭の屋外環境における熱中症予防の検討を行った。長野市の地方気象台と公立小学校の外気温度を収集して標高と気温との線形回帰を行い、有意な回帰式が得られた。この結果から、熱中症予防情報サイトに用いられる長野地方気象台の値は市街地の学校よりも標高が高く気温が低いいため、標高差による温度差補正を行わなければ各学校の熱中症リスクを過小評価することが示唆された。また学校の校庭のWBGT分布を調査した結果、建物を北、校庭を南に配置した条件では、校庭中央より建物南側近傍の熱中症リスクが高くなる傾向が得られた。建物形状や方角によっては、建物反射の短波成分が合成されて校舎近傍にホットスポットが生じる可能性があると考えられた。

③熱中症リスクの伝達を行うため2つの表示デバイスの開発を行った。1つはWBGTに基づいた熱中症リスクを軽減するための穏やかな情報通知デバイスであり、もう1つは外気温度の履歴を説明変数にした受容範囲に基づく指標表示デバイスである。WBGT(ISO 7243)タイプを教室に設置したところ(図6.3)、教員も生徒も温熱環境に意識が向き、教員と生徒のコミュニケーションが促された。

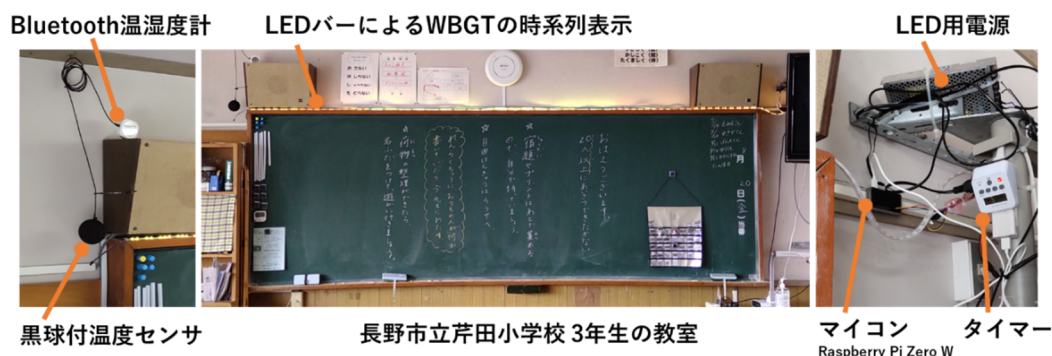


図6.3 熱中症リスクを軽減するための穏やかな情報通知デバイス

④新型コロナウイルス感染症の影響で保育園や中学校の調査を実施できず、調査リソースに余力が生じたことから、建物熱解析を追加的に実施した。気候変動が学校建築を通して児童の熱中症リスクや熱的快適性、エネルギー消費に及ぼす影響の検討に一部着手した。解析地点は長野県長野市の一地点である。温暖化の影響を受けて、暑熱側の熱的不快を感じる積算時間が今後増加すること、冷房消費エネルギーが増大して暖房消費エネルギーが減少することが予測された。今後、学校を改修する際、屋根と開口部の断熱性能の向上、開口部の日射遮蔽性能の向上が有効であることが示唆された。

## 5-2. 環境政策等への貢献

### <行政等が既に活用した成果>

- 1) 高森町「将来の気候変動を見通した市田柿の気候変動適応策計画」(2019年12月策定)。本研究の一環として作成した高森町の気温の将来予測の図を提供し採用されている。
- 2) 気象庁「日本の気候変動2020」(2020年12月策定)。評価検討部会の委員として参加。本研究の一環として、自治体の求める気候変動情報について意見を伝える。
- 3) 飯田市「'21いいだ環境プラン第5次改訂(地域気候変動適応計画)」(2021年4月策定)。本研究の一環として作成した飯田市の気候変動の実態や将来予測、気候変動影響の図を提供し採用されている。
- 4) 長野県「長野県ゼロカーボン戦略(地域気候変動適応計画)」(2021年6月策定)。本研究の一環としてまとめた「長野県の気候変動と適応策【概要版】」が別冊資料として採用されている。
- 5) 長野市「第三次長野市環境基本計画(地域気候変動適応計画)」(2022年4月策定)。本研究の一環として作成した長野市の気候変動の将来予測や気候変動影響の図を提供し採用されている。
- 6) 飯山市「第三次飯山市環境基本計画」(2022年4月策定予定)。本研究の一環として飯山市の気候変動適応について助言や参考資料の提供を行い、その結果、計画本文に適応策の項目が記載されることとなった。



### ＜行政等が活用することが見込まれる成果＞

- 1) 松本市地域気候変動適応計画（2022年度策定予定）：本研究の一環として作成した松本市の気候変動の実態や将来予測、気候変動影響の図を提供し採用される見込。
- 2) 本研究の成果である「気候変動適応に係る情報作成の手引き（案）～情報収集・整理・分析のための情報デザイン～」と「地域気候変動適応センターによる情報収集・整理・発信事例集」は既に設置されているLCCACの活動をすぐに支援することが可能となるほか、今後、地域気候変動適応計画の策定や地域気候変動適応センターの設置を検討している自治体にとっても参考となる有益な情報となりうる。

### 5－3．研究目標の達成状況

全体目標である「地域の気候変動適応を推進するため、多種多様な気候変動情報や現場のデータを、適応の主体となる情報のユーザーにとって価値のある、使いやすい情報へと変換する（デザインする）方策を提示する。」に対しては、さまざまな気候変動に関する情報の情報デザインをまとめた「気候変動適応に係る情報作成の手引き（案）～情報収集・整理・分析のための情報デザイン～」を作成したことから目標を達成したといえる。

各サブテーマの研究目標については、一部で新型コロナウイルスの影響により実施できなかった項目や開発した情報やツールをクラウド上に公開する準備まではととのったものの、公開まではいかなかったものもある一方、目標以上の成果を達成したサブテーマもあり、全体としてはおおむね研究目標を達成したといえる。

## 6．研究成果の発表状況

### 6－1．査読付き論文

#### ＜件数＞

11件

#### ＜主な査読付き論文＞

- 1) 高野（竹中）宏平、中尾勝洋、尾関雅章、堀田昌伸、浜田 崇、須賀 丈、大橋春香、平田晶子、石郷岡康史：環境情報科学学術研究論文集、33、49-54（2019）、自治体の地域気候変動適応に向けたVelocity of Climate Change (VoCC)の解析。
- 2) K. IMAMURA, K. T. TAKANO, N. H. KUMAGAI, Y. YOSHIDA, H. YAMANO, M. FUJII, T. NAKASHIZUKA, S. MANAGI: Ecosystem Services, 46, 101166 (2020), Valuation of coral reefs in Japan: Willingness to pay for conservation and the effect of information. (IF:5.454)
- 3) H. Ikawa, T. Kuwagata, S. Haginoya, Y. Ishigooka, K. Ono, A. Maruyama, H. Sakai, M. Fukuoka, M. Yoshimoto, S. Ishida, C. P. Chen, T. Hasegawa, and T. Watanabe: Boundary-Layer Meteorology, (2021) Heat-Mitigation Effects of Irrigated Rice-Paddy Fields Under Changing Atmospheric Carbon Dioxide Based on a Coupled Atmosphere and Crop Energy-Balance Model. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10546-021-00604-6>
- 4) K. YAMADA and M. KURIBAYASHI: SOLA, Vol.17A, 45-50 (2021), Topographic Effect on Heavy Rainfall Caused by Typhoon Hagibis (2019) in Nagano, Japan. (IF:2.2)
- 5) 鈴木皓達、斎藤洋介、浜田崇、川越清樹：土木学会論文集G(環境)、76(5)、I\_211-I\_220 (2020)、気候変動適応策に向けた土砂災害警戒区域のリスク情報の開発。

- 6) 川越清樹、佐藤大輝、阿部翼、二瓶茜：地学教育と科学運動、(2022)，令和元年台風19号の被害状況をふまえたEco-DRRへの展開。（印刷中）
- 7) H. Ikeda, T. Nakaya, A. Nakagawa and Y. Maeda : Journal of Building Engineering, 32, 101897 (2020) , An investigation of indoor thermal environment in semi-cold region in Japan - Validity of thermal predictive indices in Nagano during the summer season. (accepted, IF=3.379)
- 8) A. Nakagawa, H. Ikeda, Y. Maeda and T. Nakaya : Journal of Building Engineering, 32, 101469 (2020) , A survey of high school students' clothing in classroom. (IF=3.379)

## 6－2．知的財産権

特に記載すべき事項はない。

## 6－3．その他発表件数

|                  |     |
|------------------|-----|
| 査読付き論文に準ずる成果発表   | 0件  |
| その他誌上発表（査読なし）    | 15件 |
| 口頭発表（学会等）        | 46件 |
| 「国民との科学・技術対話」の実施 | 44件 |
| マスコミ等への公表・報道等    | 34件 |
| 本研究に関連する受賞       | 1件  |

## 7．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 8．研究者略歴

研究代表者

浜田 崇

早稲田大学教育学部卒業、東京都立大学大学院理学研究科地理学専攻博士課程単位取得退学、現在、長野県環境保全研究所自然環境部温暖化対策班長

サブテーマリーダー

1) 石郷岡 康史

北海道大学農学部卒業、北海道大学大学院農学研究科修了、農業環境変動研究センター上級研究員、現在、農研機構北海道農業研究センターグループ長

2) 栗林 正俊

筑波大学自然学類卒業、筑波大学生命環境科学研究科修了、岐阜大学流域圏科学研究センター学術研究補佐員、九州大学応用力学研究所学術研究員、現在、長野県環境保全研究所自然環境部研究員

3) 川越 清樹

東北大学工学部土木工学科卒業、東北大学大学院環境科学研究科博士後期課程修了、福島大学共生システム理工学類准教授、現在、福島大学共生システム理工学類教授

## 4) 山崎 剛

東北大学理学部卒業、東北大学大学院理学研究科修了、東北大学理学部助手、海洋研究開発機構サブリーダー、東北大学理学研究科准教授、現在、東北大学理学研究科教授

## 5) 中谷岳史

京都府立大学人間環境学部卒業、名古屋大学大学院生命農学研究科博士後期課程修了、大和ハウス工業総合技術研究所室内環境グループ研究員、岐阜工業高等専門学校建築学科助教、現在、信州大学工学部助教

## 研究分担者

## 1) 尾関 雅章

信州大学農学部卒業、信州大学大学院農学研究科修士課程修了、現在、長野県環境保全研究所自然環境部主任研究員

## 2) 高野 宏平

東京農工大学農学部卒業、北海道大学大学院地球環境科学研究科修了、東北大学大学院生命科学研究科産学官連携研究員など、現在、長野県環境保全研究所自然環境部研究員

## 3) 堀田 昌伸

静岡大学理学部卒業、大阪市立大学大学院理学研究科修了、現在、長野県環境保全研究所自然環境部研究員

## 4) 桑形 恒男

東北大学理学部卒業、東北大学大学院理学研究科修了、東北大学理学部助手、農業環境技術研究所上席研究員など、現在、農研機構農業環境変動研究センター再雇用職員

## 5) 滝本 貴弘

岡山大学環境理工部卒業、岡山大学大学院環境科学研究科修了、茨城大学地球変動適応科学研究機関学術振興研究員など、現在、農研機構農業環境変動研究センター研究員

## 6) 葉田野 希

信州大学理学部卒業、信州大学大学院総合理工学研究科修了、現在、長野県環境保全研究所自然環境部技師

## 7) 山田 恭平

東北大学理学部卒業、東北大学大学院理学研究科修了、国立極地研究所特任研究員、第59次南極地域観測隊越冬隊、現在、長野県環境保全研究所自然環境部環境保全特別研究員

## 8) 高木 直樹

東京工業大学工部卒業、東京工業大学大学院社会開発工学科修了、信州大学工学部教授、現在、信州大学工学部特任教授

## 9) 小林 一樹

茨城大学工学部卒業、総合研究大学院大学複合科学研究科修了、現在、信州大学工学部教授

## 10) 前田 慶博

名古屋工業大学工学部卒業、名古屋工業大学大学院修了、現在、東京理科大学工学部助教

## Ⅱ．成果の詳細

### Ⅱ－１ マルチユーザーに配慮した情報デザインの検討

長野県環境保全研究所

自然環境部 温暖化対策班

自然環境部 温暖化対策班

自然環境部 生物多様性班

浜田 崇

栗林 正俊・尾関雅章

高野 宏平・堀田昌伸

(研究協力者)

長野県環境保全研究所

自然環境部 温暖化対策班

井田 玲子

#### [要旨]

サブテーマ1では、気候変動適応の推進に必要な気候変動に関する情報の作成について、さまざまなステークホルダーとの意見交換（リスクコミュニケーション含む）を通じてその情報デザインを検討し、LCCACが活動の参考とすることができるような情報作成の手引きとしてまとめることを目的として以下の4つの研究を行った。なお、本研究においては情報の収集・整理・分析により気候変動情報を作成することを気候変動情報の情報デザインとして定義する。

①気候変動に関する情報を作成する立場にあるLCCACやそれらの情報を受け取る自治体関係者などへのアンケート調査やヒアリング調査等から、求められている気候変動情報とは何か（ニーズ）とその情報作成にあたっての課題を抽出した。

②既存の気候変動に関する情報や新たに収集する情報などを用いて、①で得られた情報作成の課題へ対応できるような情報デザインの検討を行った。具体的には信州気候変動適応センターの活動として実施した気象データの収集整理、気候変動予測情報のGIS情報化、市町村や県民向けアンケート調査による地域課題の収集、生態系への影響評価情報の作成などを行った。一部の成果は適応センターのホームページやA-PLATから公開された。

③サブテーマ2～6で開発される情報作成を進めるため、開発に必要な情報の収集と提供、サブテーマ毎に関係者とのリスクコミュニケーションの場を必要に応じて設定するなどの研究推進にあたりサポートを行った。

④②およびサブテーマ2～6で作成された情報を情報デザインとしてとりまとめ、LCCACがその活動として参考となる情報作成の手引き（案）を作成した。また①のヒアリングの中でも多かった他のLCCACの活動事例を参考にしたいとの意見に対応するため、追加的にLCCACの活動事例集を作成した。いずれもLCCACに対して公開準備が整った。

#### 1．研究開発目的

気候変動の影響は、地域の自然条件や社会経済的な状況により異なるため、自治体を中心となって地域の実情に応じて適応策を進めることが重要である。2018年「気候変動適応計画」の閣議決定、気候変動適応法の公布・施行を受け、努力義務ではあるものの、地域気候変動適応計画の策定やLCCACの設置は年々進んできた。地域気候変動適応計画の策定に際しては、「地域気候変動適応計画策定マニュアル」や計画策定ガイドマップなどの資料がA-PLATから提供されており参考となる。一方、LCCACはその活動（気候変動影響及び気候変動適応に関する情報の収集、整理、分析及び提供並びに技術的助言を行う）が気候変動適応法に示されているものの、具体的にどのような情報を収集し、整理、分析をすればよいかなど参考となるものはまだ存在していない。

気候変動適応を推進するためには科学的知見は不可欠である。気象庁は全国各地の気象台やアメダ

ス等における観測データをホームページから公開し、温暖化予測情報などの将来気候予測情報の提供も可能としている。また、環境省や文部科学省等により気候変動影響予測と適応策に関するプロジェクト研究が進み、その研究成果として気候変動予測や分野毎の影響の情報もA-PLAT等から提供されるように整備が進められてきた。

しかし、自治体における適応策の社会実装はまだ十分に進んでいないのが現状である。これは、さまざまな理由が考えられるが、気候変動に関する情報がそれを必要とする人達にとって必ずしも使いやすい情報になっていないことが要因の一つであると考えられる。気候変動に関する情報の作成はまさにLCCACに求められている活動そのものであるが、多くのLCCACにおいては気象や気候変動の専門家がいないうちで活動を行っており、そうした情報の作成自体が最大の課題ともなっている。

そこで、サブテーマ1では、気候変動適応の推進に必要な気候変動に関する情報の作成について、さまざまなステークホルダーとの意見交換（リスクコミュニケーション含む）を通じてその情報デザインを検討し、LCCACが活動の参考とすることができるような情報作成の手引きとしてまとめることを目的とする。

なお、一般的に情報デザインとは、情報のユーザーにとって価値のある、使いやすい情報へと変換する作業もしくはそのプロセスのことを意味するが、本研究ではLCCACがそれらの情報の収集・整理・分析を通じて気候変動情報を作成する一連の流れのことを気候変動情報の情報デザインとして定義し用いることとする。

## 2. 研究目標

既存の気候変動に関する情報を、地域気候変動適応センターや地方自治体が使いやすい情報へとデザインする。サブテーマ2～6で開発される情報を、それぞれのユーザーが使いやすい情報とするため、ワークショップ等のリスクコミュニケーションの機会を提供し、情報デザインのサポートを行う。情報の収集からデザインされた成果の作成にいたるまでをガイドラインとしてまとめる。

## 3. 研究開発内容

サブテーマ1では研究計画に基づき次の4つの研究を行った。

- ①気候変動に関する情報を作成する立場にあるLCCACやそれらの情報を受け取る自治体関係者などを対象に、これまで実施されてきた意見交換会での意見やアンケート結果を参考にしながら、かつLCCACへのアンケート調査およびヒアリング調査を行い、求められている気候変動情報とは何か（ニーズ）とその情報作成にあたっての課題を抽出する。
- ②既存の気候変動に関する情報や新たに収集する情報などを用いて、①で得られた情報作成の課題へ対応できるような情報デザインの検討を行う。サブテーマ1を担当する長野県環境保全研究所は長野県の地域気候変動適応センター（信州気候変動適応センター）であることから、センターとして実施した情報の収集・整理・分析を情報デザインの分析事例とする。
- ③サブテーマ2～6で開発される情報作成を進めるため、開発に必要な情報の収集と提供、サブテーマ毎に関係者とのリスクコミュニケーションの場を必要に応じて設定するなどの研究推進にあたりサポートを行う。
- ④②およびサブテーマ2～6で作成された情報を情報デザインとしてとりまとめ、LCCACがその活動として参考となるような情報作成の手引き（案）を作成する。

## 4. 結果及び考察

### 4-1. 気候変動情報へのニーズとLCCACの課題

#### (1) 気候変動適応に必要な情報ニーズ

2019年度は、表1.1に記載の資料および機会を活用して、県や市町におけるLCCAC担当職員や気候変動業務担当の自治体職員（＝気候変動情報のユーザー）が求めている情報とは何かについて整理を行った。180件の意見やコメントを、「地域気候変動適応計画策定マニュアル」のステップを参考にして4種



類の情報に分類し、それに「その他」を加えた計5種類に分類した。分類した種類毎の情報に関するニーズをまとめた（表1.2）。分類毎にみると、多い方から「影響予測」、「気候予測」、「これまでの気候変動と影響」と続いた。その中で「市町村スケール」の気候変動予測および影響予測情報に対するニーズがとりわけ高く、次いで分野毎の影響予測情報であった。このニーズを踏まえ、どのような情報をデザインすればよいかを決める参考とした。

表1.1 情報のニーズと課題の把握に用いた資料および会合

| 活用した資料および参加した会合                               | 出典等            |
|-----------------------------------------------|----------------|
| 13の地域気候変動適応センター課題要望まとめの内部資料<br>(2019/11/20時点) | 国立環境研究所より提供    |
| SI-CATで実施した自治体ヒアリング調査（2016～2018年度実施）<br>の内部資料 | 法政大学馬場健司教授より提供 |
| 適応自治体フォーラム（2019/7/11）での意見                     | 地域気候変動適応白書を参照  |
| 自治体意見交換会（2019/11/22）の議事録                      | 国立環境研究所より提供    |
| 地域適応シンポジウム（2020/1/22-23）での意見                  | 会合に参加          |

表1.2 求められている気候変動情報

| 情報の種類        | 求められている情報         | 数  |
|--------------|-------------------|----|
| これまでの気候変動と影響 | 地域の気候の特徴          | 2  |
|              | 地域の気候変動の実態        | 4  |
|              | 過去の異常気象や災害        | 3  |
|              | 地域の気候変動影響         | 5  |
| 気候予測         | 気候変動予測            | 3  |
|              | 市町村スケールの詳細な気候変動予測 | 14 |
|              | 短期的な予報            | 1  |
| 影響予測         | 各分野における影響予測       | 11 |
|              | 市町村スケールの詳細な影響予測   | 10 |
|              | リスク情報・被害額         | 3  |
| 影響評価と適応策     | 優先順位              | 5  |
|              | 適応策のコスト           | 3  |
|              | 適応策の進捗管理指標        | 2  |
| その他資料        | 関係部局への説明資料        | 6  |
|              | 県民・市民への普及啓発資料     | 3  |
|              | 民間事業者への提供資料       | 2  |

## (2)LCCACの抱える情報作成にあたっての課題

2020年度および2021年度は、LCCACに対してアンケート調査およびヒアリング調査を行った。

アンケート調査は2020年10月1日現在に設置済の地域気候変動適応センター25箇所に対して、各LCCACで実施している適応に関する情報の収集から提供までの活動事例とそれに関わる課題等についての質問票を電子メールにより送付し、全てのLCCACより回答を得た。さらに、事前に回答いただいたアンケートの結果についてより具体的な内容を確認するため、24箇所のLCCAC（宮城県除く）に対して、訪問もしくはオンラインによるヒアリング調査を実施した。また2021年度はLCCACの設置数が大きく増加した

ため、8箇所のLCCACに対して追加のヒアリング調査を行った（表1.3）。

表1.3 LCCACヒアリング実施行程

| No | センター名           | ヒアリング日時     |               | 形態     |
|----|-----------------|-------------|---------------|--------|
| 1  | 川崎市気候変動情報センター   | 2020年11月27日 | 10時～12時       | 訪問     |
| 2  | 神奈川県気候変動適応センター  | 2020年11月27日 | 15時～17時       | 訪問     |
| 3  | 福岡県気候変動適応センター   | 2020年12月7日  | 14時～16時       | 訪問     |
| 4  | 鹿児島県気候変動適応センター  | 2020年12月8日  | 9時～10時        | 訪問     |
| 5  | 宮崎県気候変動適応センター   | 2020年12月8日  | 15時～17時       | 訪問     |
| 6  | 千葉県気候変動適応センター   | 2020年12月9日  | 15時～17時       | 訪問     |
| 7  | 栃木県気候変動適応センター   | 2020年12月14日 | 10時～12時       | 訪問     |
| 8  | 那須塩原市気候変動適応センター | 2020年12月14日 | 15時～17時       | 訪問     |
| 9  | 茨城県気候変動適応センター   | 2020年12月17日 | 14時～16時       | 訪問     |
| 10 | 埼玉県気候変動適応センター   | 2020年12月18日 | 13時30分～15時30分 | 訪問     |
| 11 | 富山県気候変動適応センター   | 2020年12月21日 | 10時～12時       | 訪問     |
| 12 | 石川県気候変動適応センター   | 2020年12月21日 | 15時～17時       | 訪問     |
| 13 | 岐阜県気候変動適応センター   | 2020年12月22日 | 10時～12時       | 訪問     |
| 14 | 三重県気候変動適応センター   | 2020年12月22日 | 15時～17時       | 訪問     |
| 15 | 愛知県気候変動適応センター   | 2020年12月23日 | 9時～11時        | 訪問     |
| 16 | 静岡県気候変動適応センター   | 2020年12月23日 | 15時～17時       | 訪問     |
| 17 | 愛媛県気候変動適応センター   | 2021年1月12日  | 15時～17時       | online |
| 18 | 高知県気候変動適応センター   | 2021年1月13日  | 9時～11時        | online |
| 19 | 香川県気候変動適応センター   | 2021年1月13日  | 15時～17時       | online |
| 20 | 徳島県気候変動適応センター   | 2021年1月14日  | 10時～12時       | online |
| 21 | 滋賀県気候変動適応センター   | 2021年1月14日  | 15時～17時       | online |
| 22 | 新潟県気候変動適応センター   | 2021年1月19日  | 13時30分～15時30分 | online |
| 23 | 大阪府気候変動適応センター   | 2021年1月22日  | 14時～16時       | online |
| 24 | 信州気候変動適応センター    | -----       |               | -----  |
| 25 | 北海道気候変動適応センター   | 2021年11月30日 | 15時～17時       | 訪問     |
| 26 | 宮城県気候変動適応センター   | 2021年12月1日  | 14時30分～16時30分 | 訪問     |
| 27 | 山形県気候変動適応センター   | 2021年12月2日  | 9時～11時        | 訪問     |
| 28 | 広島県気候変動適応センター   | 2021年12月6日  | 14時～16時       | 訪問     |
| 29 | 島根県気候変動適応センター   | 2021年12月7日  | 13時30分～15時30分 | 訪問     |
| 30 | 鳥取県気候変動適応センター   | 2021年12月8日  | 9時～11時        | 訪問     |
| 31 | 兵庫県気候変動適応センター   | 2021年12月8日  | 15時30分～17時    | 訪問     |
| 32 | 京都気候変動適応センター    | 2021年12月9日  | 13時～15時       | 訪問     |

アンケートおよびヒアリング調査から、LCCACの活動に対する課題を以下のとおりまとめた。LCCACの活動を7つに分類し、それぞれの課題数を表1.4に示した。

表1.4 アンケートおよびヒアリング調査から得たLCCACの活動毎の課題数

| 情報収集整理 | 調査分析 | 普及啓発 | 相談支援 | 進捗管理 | 運営 | 活動全般 |
|--------|------|------|------|------|----|------|
| 37     | 36   | 51   | 16   | 2    | 27 | 21   |

これらの課題の中から、本研究で情報デザインとして取り上げる情報収集整理、調査分析およびそれら全般について整理した具体的な課題を表1.5に示す。全般の項目は主に何を行えば良いのかわからないといった課題となっている。情報収集整理の項目ではデータ収集や観測方法、アンケート調査など収集のやり方が主な課題であった。調査分析の項目では、大きく分けると、将来予測情報の研究や活用方法、個別課題の分析事例など研究内容に関する課題とデータの扱い方や計算など分析手法に関する課題であった。その他、求められている気候変動の情報ニーズの中でもとりわけ多かった市町村スケールの情報作成（空間解像度に係る課題）もみられた。

この他の課題としては「他センターの活動事例を具体的に知りたい（ノウハウを共有させていただきたい）」や「普及啓発」についての内容がとて多くみられた。

なお、この調査は気候変動適応に関する地域気候変動適応センター等と国立環境研究所との共同研究（適応型）「適応推進に資する科学情報提供に向けた共創プラットフォームの構築」（2020年度）および「LCCACとの共創による地域の適応に関する情報デザイン」（2021年度～）（いずれも代表：真砂佳史）と連携して実施した。

表1.5 LCCACがかかえる情報作成にあたっての課題

| 分類     | 項目             | 課題                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 全般             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ノウハウ，共通の手法</li> <li>・情報収集，整理，分析</li> <li>・解析手法やスタートからゴールまでの流れ</li> <li>・使えるようなデータ・データソース</li> <li>・効率的・効果的な情報収集</li> <li>・研究・分析スキル</li> <li>・分析マニュアル，分野毎の調査・解析マニュアル</li> </ul> |
| 情報収集整理 | (地域の情報収集)      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地域課題の収集・共通のアンケート様式</li> <li>・災害分野の気候変動影響情報の収集</li> </ul>                                                                                                                       |
|        | (収集方法・観測方法)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・データ収集（気象台以外のデータ含む）の方法</li> <li>・モニタリングネットワークによる観測方法</li> <li>・熱中症観測方法</li> <li>・市民参加型調査による情報収集</li> </ul>                                                                      |
|        | (気候予測情報の収集)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ダウンスケーリング情報収集</li> </ul>                                                                                                                                                       |
|        | (情報整理)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・近隣市町村との情報共有</li> </ul>                                                                                                                                                         |
| 調査分析   | (将来予測の調査分析)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・将来予測の研究手法</li> <li>・ダウンスケーリング予測情報活用</li> <li>・影響評価研究・（将来影響評価・短期的な影響評価）</li> <li>・災害分野の気候変動影響情報の予測計算</li> <li>・将来予測情報の分野別提供事例</li> </ul>                                        |
|        | (分析事例)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・公開情報の分析</li> <li>・分析事例</li> <li>・豪雨事例分析</li> <li>・水害や熱中症の分析</li> <li>・海底湧水の調査技術</li> <li>・環境DNAの活用事例</li> <li>・レッドデータブック情報と気候変動の解析事例</li> <li>・ArcGIS活用事例</li> </ul>           |
|        | (分析方法・データの扱い方) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・将来予測計算方法</li> <li>・ダウンスケーリング手法</li> <li>・気候予測データの扱い方</li> <li>・気象データの見方・取扱・グラフ作成・トレンド検定</li> <li>・欠損処理のやり方・データハンドリング</li> <li>・データ取扱の指針やルール</li> </ul>                         |
|        | (解像度)          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎自治体向け情報提供（空間解像度）</li> <li>・空間解像度と時間解像度</li> </ul>                                                                                                                            |
|        | (適応策の分析)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・影響評価と適応策のギャップ</li> </ul>                                                                                                                                                       |

### (3) 基礎自治体の意見収集

長野県内の基礎自治体においては、2019年度から2021年度までの3年間に、適応計画策定等の動きがあった。2019年度には高森町が市田柿の気候変動適応計画を策定、2020年度には飯田市が地域気候変動適応計画を策定した。2021年度には長野市と松本市が地域気候変動適応計画を策定し、飯山市が環境基本計画の改定に伴い適応策を位置づけた。また小布施町では2022年度に地域気候変動適応計画策定に向けて動き出した。これらの市町からは信州気候変動適応センターに対して情報提供および適応計画等の策定に際しての助言（委員等の委嘱など）の依頼があった。この依頼に対応するため市町担当者と相談する過程において基礎自治体が求める情報について意見をききとった。いずれの市町においても、区域内における気候変動の実態や区域で切り出された気候変動の将来予測や影響評価のマップの情報を求めている。その他、区域内における特徴的な影響情報の収集の方法も相談された。これらから、基礎自治体への情報提供を目的とした区域内における気温や降水量などの経年変化の情報や空間解像度の高い気候変動情報の作成が必要であることが明らかとなった。

以上の(1)(2)(3)で得られた結果から、気候変動適応を推進するにあたっては、求められている気候変動の情報をどのように作成すればよいか、という情報デザインが必要になると考えられた。このことから、本研究ではLCCACが気候変動情報を作成するときに入力となるような参考書として、「気候変動適応に係る情報作成の手引き（案）～情報収集・整理・分析のための情報デザイン～」を作成し提案することとした。また、普及啓発や情報発信に対する課題と他のLCCACの活動事例を参考にしたいとの要望も多かったことから、2019年度に実施した24箇所のLCCACへのヒアリング調査からききとった202の活動事例から42事例を選びそれらを「地域気候変動適応センターによる情報収集・整理・発信事例集」として追加的にとりまとめることとした。（内容については4-4で触れる）

#### 4-2. 適応センターの活動として開発した情報デザインの事例

信州気候変動適応センターは2019年4月1日に当研究所および県庁環境政策課の共同で設置された。基盤情報の整備、情報発信、適応策の創出支援などを主な活動としている。センターの活動の一環として取り組んできた活動それ自体がLCCACにおける具体的な情報デザインでもある。そこで、ここでは信州気候変動適応センターで情報デザインの事例を簡潔に整理する。

##### 1) 気象データ収集整理分析

地域の気候変動の適応を推進するにあたりもっとも基本的な情報の一つは過去から現在までの気候変動の実態である。具体的には長期間にわたり観測がされている気象庁の気温や降水量、積雪深などの経年変化から気温の上昇や降水量の増加などの傾向を示すことである。これら気象庁の気象データの収集、整理、分析した情報デザインを開発し、それを信州気候変動適応センターのホームページにツールとして実装し公開を行った。プログラミング言語のPythonを使ったデータの抽出と分析、そのグラフ化をユーザーがインタラクティブに操作できるようなものとしている。

長野県内にあるすべての気象庁観測地点から、観測開始以降から2020年までの気温、降水量、積雪深のデータを収集した。年および月平均値のほか、気温と降水量については階級別日数（真夏日や日降水量50mm以上の日数など）も収集した。

図1.1のパネルから、地点、要素、時間、統計値を

①地点をえらぶ 地図から指定 ※最大5地点まで

|      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|
| 長野   | 軽井沢  | 松本   | 諏訪   | 飯田   | 野沢温泉 |
| 信濃町  | 飯山   | 白馬   | 大町   | 信州新町 | 菅平   |
| 上田   | 穂高   | 東御   | 松本今井 | 立科   | 佐久   |
| 奈川   | 開田高原 | 木祖敷原 | 辰野   | 原村   | 野辺山  |
| 木曾福島 | 伊那   | 南木曾  | 飯島   | 浪合   | 南信濃  |
| 小谷   | 鬼無里  | 笠岳   | 聖高原  | 上高地  | 鹿教湯  |
| 白樺湖  | 北相木  | 高遠   | 御嶽山  | 宮田高原 | 杉島   |
| 須原   | 大鹿   | 阿南   |      |      |      |

②要素をえらぶ

気温 雨 雪

③気温をえらぶ

年毎 月毎 各種日数

④統計値をえらぶ

日平均 日最高 日最低

⑤期間をえらぶ 2021

1880

グラフ更新

☐ 数値 ☐ グリッド

図 1.1 グラフ作成ツールの操作パネル



選択し、最後に描画したい期間を選ぶと図1.2のような図が作成される。図は各年の値のプロットの他、5年移動平均およびトレンドを示す直線である。トレンドの直線はMann-kendallの検定が有意な場合のみ描かれるようにしてある。その際の100年あたりの変化量を図中左上に表示させている。

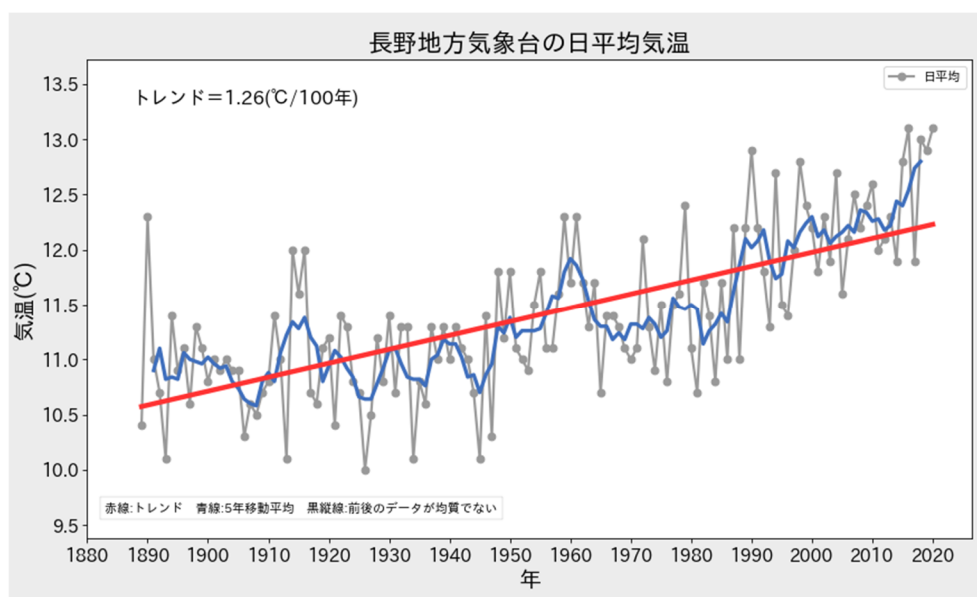


図 1.2 気象データの経年変化グラフの一例（年平均気温の変化）

## 2) 統計的ダウンスケーリングされた気候予測分布図の作成

気候予測値は、統計的ダウンスケーリングされた「農研機構シナリオ2017」を利用した<sup>1)</sup>。これは5種類の全球気候モデル(GCM)と2種類の代表的濃度経路(RCP)シナリオにより計算された気候予測値を、「農研機構メッシュ農業気象データ」をベースラインにして正規分布型スケーリング法<sup>2)</sup>でバイアス補正しつつ、平年差の距離重み付け法<sup>3)</sup>で統計的に全国3次メッシュ(1 km格子)に高解像度化した日別のデータセットである。

本研究では、気温、降水量、日射量、相対湿度について将来の空間分布図を作成した（図1.3）。GCMはIshizaki et al. (2020)<sup>4)</sup>で気温と降水量についてバイアスの評価がなされているMIROC5を選び、RCP8.5の条件下における2031～2050年の図とした。

気温は全県的にほぼ同様の上昇傾向を示し、その分布はほぼ標高に依存していた(a)。年降水量は気温と同様に長野県全域で変化し、その分布の特徴は現在と同様に長野盆地・上田盆地・佐久盆地において少なく、北部・西部・南部の県境界の山岳域や木曽山脈においては多かった(b)。全天日射量は全県的に増加傾向を示し、その分布は諏訪盆地や伊那盆地で多く、北部の県境界の山岳域では少なかった(c)。相対湿度は長野県全域でほぼ同様の傾向を示し、その分布は北東部の山岳域では高く、松本盆地や伊那盆地では低かった(d)。

気温や降水量は観測値の過去の変化に対して、予測値は比較的大きく変化しているが、相対湿度は観測値の過去の変化に対して、予測値の変化は小さかった。ただし、相対湿度は他の気象要

素に比べると信頼性が劣るとされているため<sup>1)</sup>、今後、精度を検証していく必要がある。

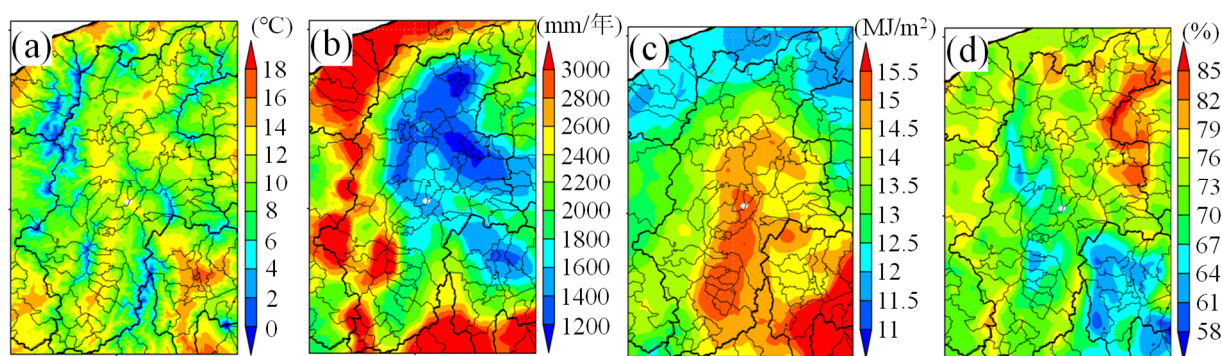


図1.3 長野県とその周辺におけるRCP8.5シナリオ下の2031～2050年の(a)年平均気温、(b)年降水量、(c)日積算全天日射量、(d)年平均相対湿度、の空間分布。太い黒線は県境界、細い黒線は市町村境界。

### 3) 公開されている気候変動予測情報のGISデータ化

将来の気候変動予測や影響について、既存の公開されている研究成果のうち、GIS情報となっているものについて収集し、長野県内のデータを抽出したうえでWeb上での閲覧を可能となるよう整備した。

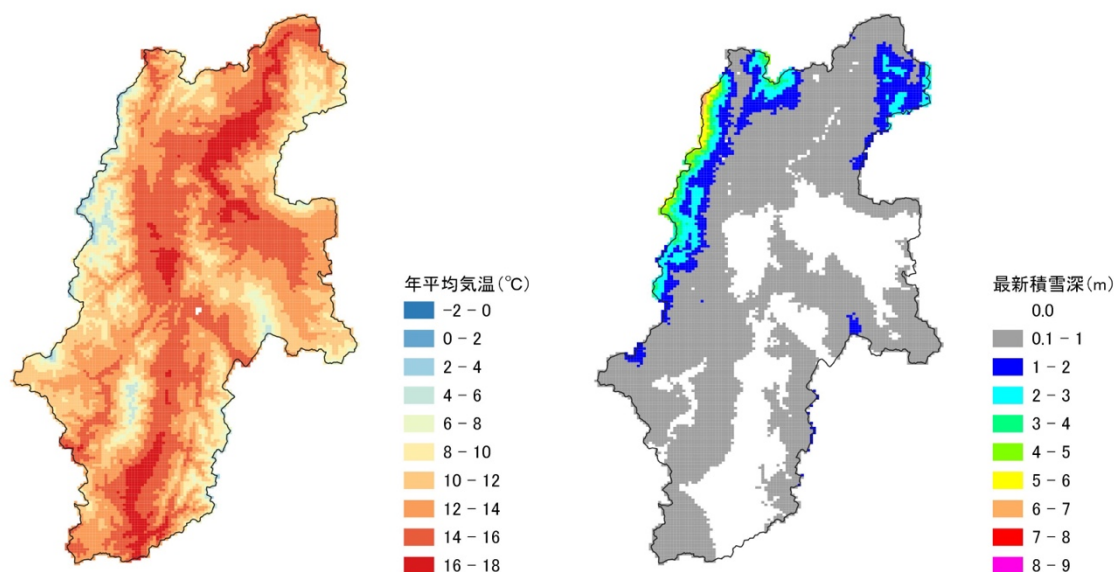


図 1.4 GIS情報として整備した21世紀末のRCP8.5シナリオにおける年平均気温予測（左）およびd4PDFの4℃昇温シナリオにおける最深積雪の分布図

用いたデータ（出典）は、気候変動として気温（A-PLAT）・積雪深（SI-CAT）、農林業への気候変動影響としてコメ収量・品質（A-PLAT）・松枯れ潜在リスク<sup>5)</sup>、生態系影響としてブナ林の潜在生育域（A-PLAT）・竹林の分布可能域（A-PLAT）、自然災害への影響として洪水の最大浸水深分布（SI-CAT）・斜面崩壊の発生確率（SI-CAT）、健康への影響として熱中症リスク（SI-CAT）・ヒトスジシマカの潜在生息域（A-PLAT）とした。各データについて現状と将来予測データについては、信州気候変動適応センターのホームページから閲覧できるようにするため、ArcGISオンライン上で描画できるshpファイルとして整備を行った。GIS情報として整備した一例として、図1.4はQGISで作成した21世紀末のRCP8.5シナリオにおける年平均気温予測（左）およびd4PDFの4℃昇

温シナリオにおける最深積雪の分布予測結果、図1.5はArcGISオンラインで作成した生態系影響に関する将来予測結果である。

GISで整備することで、基礎自治体が地域気候変動適応計画を策定する際の当該区域の情報を提供することが容易になる。また他の地図情報との重ね合わせにより、適応策の検討に資する情報へと加工することも容易になることがメリットである。

今後はこれらの気候変動影響の情報を信州気候変動適応センターのホームページを通じて、ArcGISオンラインのアプリケーション、Dashboards等で公開・閲覧を計画している。これにより、気候変動影響情報に関心のあるユーザーのなかで、特に市町村単位の気候変動影響情報を必要とするユーザーに対しては、任意の市町村を対象とするGISデータを提供することが容易となる。ただし、予測データ等の適切な利用に向けては、その不確実性をあわせて提示することが重要と考えられるが、GIS上でその不確実性を適切に、また明示的に示す手法やデザインが課題となっている。

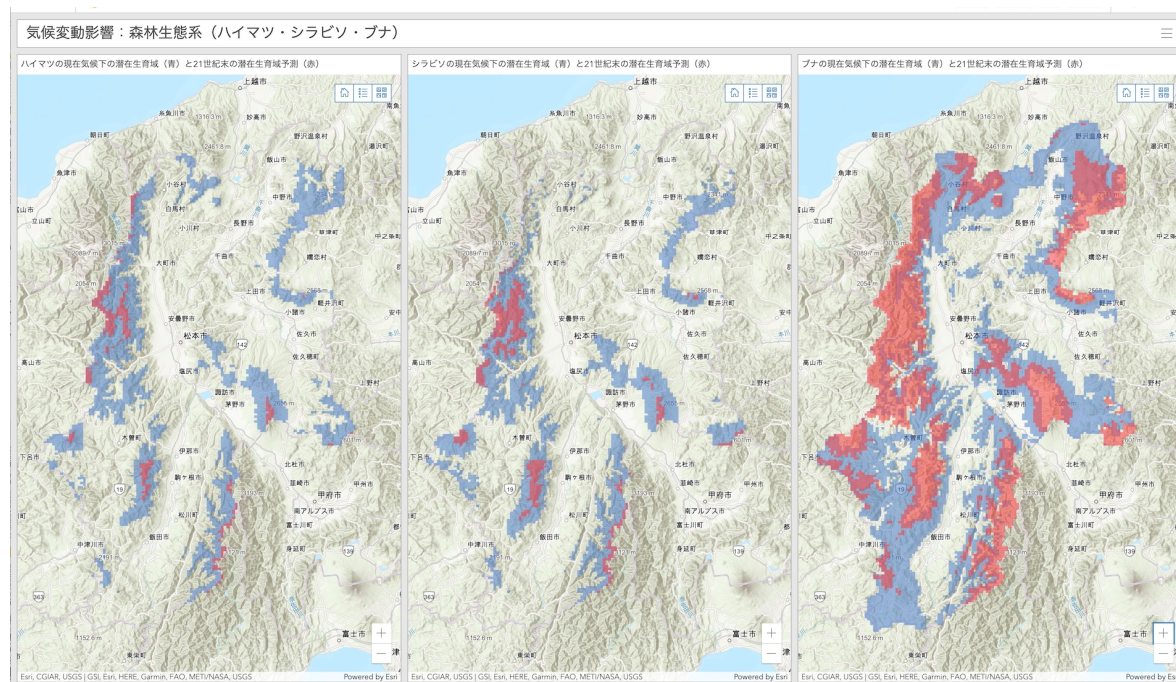


図 1.5 GIS情報として整備した生態系の気候変動影響予測結果の例（ハイマツ・シラビソ・ブナの現在の潜在生育域と21世紀末（RCP8.5）の潜在生育予測域）

#### 4) 市民参加型調査による情報収集

政府の「気候変動適応計画」では、市民（国民・県民）は気候変動適応の重要性に対する関心と理解を深め、適切な行動をとることが求められている。そのための方法の一つとして、市民参加による気候変動影響の情報収集を通じた活動があげられる。本研究では、多くの市民に参加してもらいやすい調査手法を確立するため、気候変動の影響を受けるとされる「セミ」を対象として、鳴き声等の観察によるセミの分布および鳴く時期に関する情報をスマートフォンのアプリ（ArcGISオンラインのSurvey123）を利用して収集し、分析を行った。

今回の調査では、情報収集アプリ（Survey123）を使用し、セミの種類、確認した日と位置、種類を判別した方法（鳴き声、抜け殻、成虫）を収集した。2019年と2021年は研究員のみで行い、2020年は市民及び研究員で実施した。市民への参加の広報については、プレスリリースを行った（3社において掲載・放送された）ほか、長野県内の生きものに関心の高い7団体と個人に調査への参加依頼、（公財）日本環境協会のこどもエコクラブイベント情報への掲載となった。

2019年から2021年の3年間で4,336件のセミ情報が収集され、特に市民や市民団体が参加した





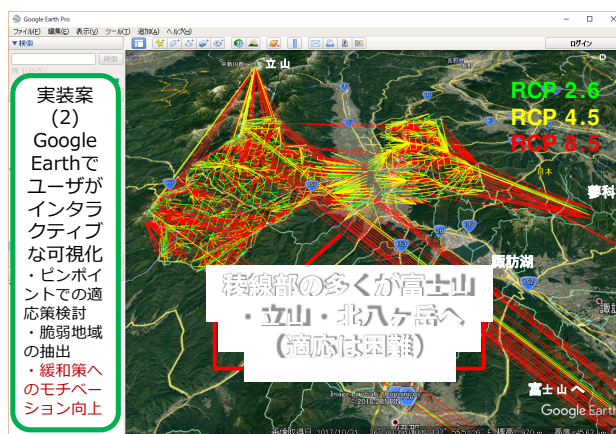


図1.7 VoCCの表示例（長野県松本市を事例として）

この研究成果を、全国約1700の市区町村レベルで切り出したデータを環境省の地域適応コンソーシアム事業の一環としてA-PLATに実装し、データをダウンロードできるようにした。また、本研究では、Google EarthやGoogleマップで表示するためのマニュアルや紹介動画を作成し、ダウンロードや閲覧を可能にしてある（図1.8）。2022年度上半期には、これらの成果を含むパワーポイントファイルを「信州の生物多様性と気候変動」と題して「ながの電子申請（長野県）」のサイトを通じて配布し、信州環境カレッジ参加団体を初めとする環境教育現場で利用してもらう予定である。

本研究の成果は、国立環境研究所気候変動適応センターが運営するA-PLATのホームページからダウンロードし、Google マップ上に表示することが可能です。



図 1.8 VoCCのデータダウンロードおよび紹介動画の画面

## 6) 市町村アンケート・県民アンケート

長野県内77市町村（回答数：66市町村）および講座や講演に参加の県民（回答者数：403人）を対象に、気候変動や影響に対する実感や県からの情報提供の状況を知るためにアンケートを実施した（質問内容は市町村と県民とで若干異なる）。市町村あてのアンケートは環境部局の地球温暖化を担当する窓口あてに質問用紙をメール添付で発送し、その回答もメールにより得た。県民あてのアンケートは当研究所が主催の気候変動に関する講座や県民や団体等からの依頼により行った気候変動に関する講演などの参加者にアンケート用紙を配布し記入、もしくはQRコードからGoogle Formを用いたアンケートページにおける記入により回答を得た。県と市町村には連絡系統があるためそれを活用することで高い回収率を期待できる。また県民アンケートに用いたGoogle Formは集計やグラフ作成が容易なため使いやすい。一方、講座や講演会の参加者の多くは比較的年齢層が高くインターネットを利用した回答は敬遠されやすいため会場にて紙に記入してもらう方法も併用すると回収率が高くなりやすい。

アンケート結果の例を図1.9および図1.10に示した。図1.8は現在既に現れていると感じる気候変動と今後現れることが心配される気候変動について市町村にきいたものである。

## 3. 貴自治体内で、どのような気候変動が、ア：既に現れてい...あてはまるもの全て選択、同じ分野でアとイ両方選択も可

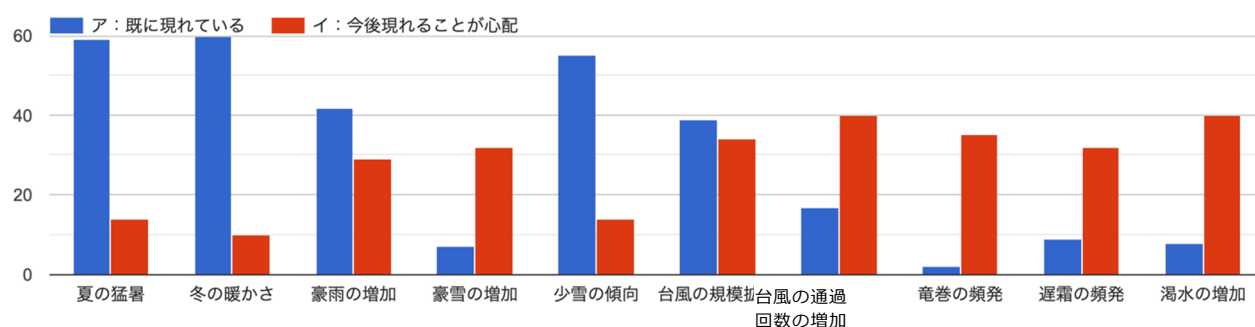


図 1.9 市町村アンケート結果の一例

図1.9は不安に感じる気候変動影響について県民にきいたものである。これらの結果は、今後、気候変動に関するどのような情報を収集整理し提供できるように準備を進めるかを検討する際の基礎資料として有用である。ただし、今回実施した県民アンケートの結果は気候変動に比較的関心の高い人達が対象であった可能性が高く、幅広い層の県民に対してアンケートを実施するための工夫は課題と考える。

## 7. 気候変動影響で不安に感じる分野

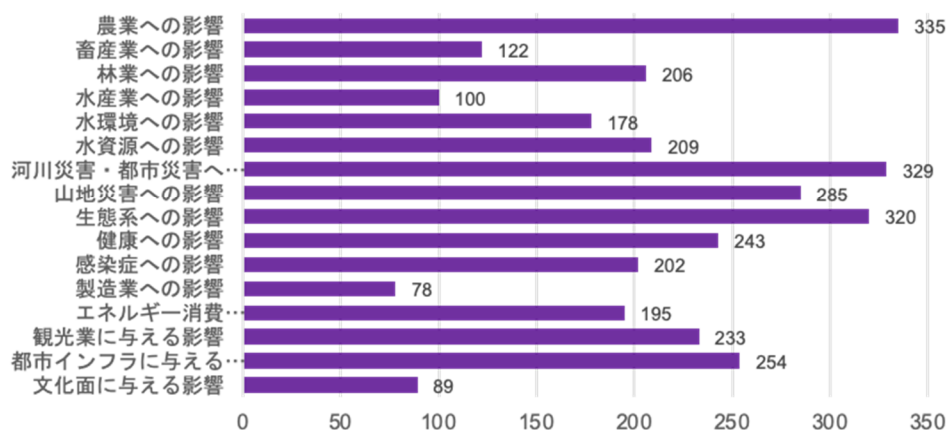


図 1.10 県民アンケート結果の一例



## 7) 高校生の気候変動実感授業

近年、世界中の若者たちが将来の地球や地域の未来に危機意識を持ち始めている。日本でも同様に若者の行動は目立ち始めている。その一方で、たとえば高校生の場合には、生まれてからまだ十数年しか経っておらず、すでに気候変動が顕在化しつつある中で育ってきた。そのため長期間にわたる気温の上昇や過去に比べて豪雨の発生頻度が増加していることなどは実感を伴っていないことも多い。

そこで高校生を対象に、彼らが気候変動影響の実感を持てるような授業の実践例を開発した。高校生には自分たちの関心あるテーマ、たとえば農業や熱中症、自然環境などをえらび、それに関係する身近な大人（できれば年配の人）に気候変動影響についてインタビューをしてもらうという内容のものである（図1.11）。その際、過去と現在の比較をきくことで、データでしか知らない気候変動の影響を実感もつことが可能となる（授業前後のアンケート結果から判断した）。実感が伴うことで気候変動対策の行動へのきっかけを提供できるだけでなく、この授業を実践することによってLCCACにとっては貴重な地域の気候変動影響に関する情報を収集することも同時に達成することができるという利点もある。

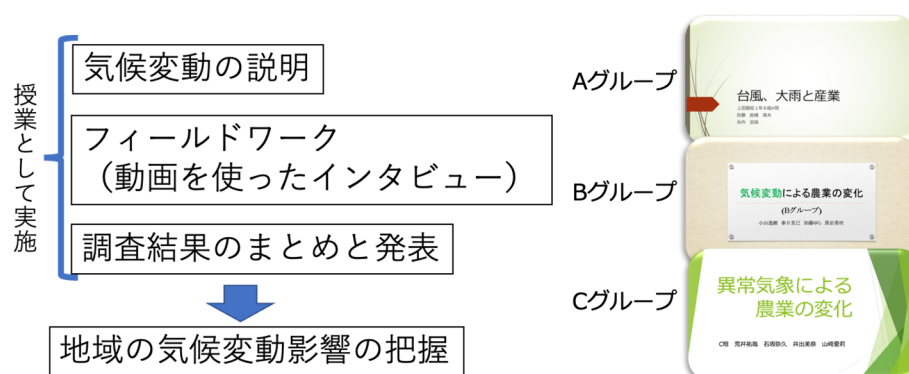


図 1.11 授業のフロー（左）と成果発表資料の例（右）

## 8) メッシュ気象情報の予報値を活用した害虫防除適期の推定

農業現場の生産圃場におけるフジコナカイガラムシおよびナシマルカイガラムシに対する防除適期は、直近の気象観測点データの有効積算温度から従来予測されてきたが、気象観測点から遠い場所における予測は精度が悪かった。そこで、空間解像度が1kmのメッシュ農業気象データを用いて、これら害虫の防除適期を予測した（図1.12）。また2018年、2019年の圃場における実際の害虫の発生活長データと比較することにより、その精度を検証した。その結果、両種ともメッシュ農業気象データを利用した場合、精度良く防除適期を予測することができた。このことから、本手法は気象観測点から遠く、気象観測データを用いた予測と実測に誤差が生じていた圃場においても、的確な防除適期を把握することができると考えられる。気候変動の進行に伴い、これらの害虫の発生時期が変化すると考えられる。本手法をPythonプログラムで実装することで、県域等の広域範囲の防除適期を短時間で出力することが可能となり、効率的な防除指導が推進できると考えられる。

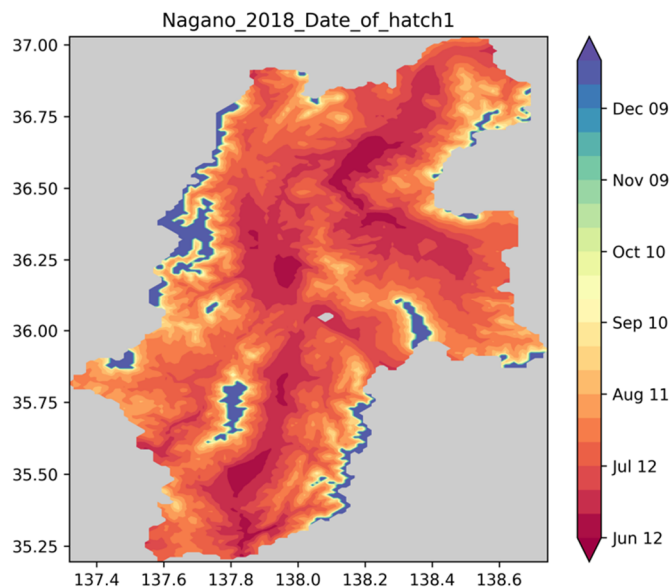


図 1.12 カイガラムシの防除適期の予報分布例

#### 9) 情報デザインが保全への協力意識に与える影響

どれくらいの量や長さの情報をどのような媒体（文章や図表、動画等）で提供するかは重要である。特に気候危機のように複雑な問題に対応すべく行動変容を促したり、自然環境の様にその価値が明示的でないものについて社会が判断を下したりするとき、提供される科学情報は決定的に重要な役割を果たす。

情報中の文字や図表は理解を助ける。動画は目を引き、感情を引き起こし、記憶に残りやすくすることが知られている。一方で情報が多すぎると理解を妨げたり、情報に疲れたりして、より良い判断に結びつかない可能性もある。

そこで本研究では、提供される情報の量や媒体の違いによって、気候危機などにさらされる沖縄のサンゴ礁の保全に対する協力意識がどのように増減するか検証した。全国の約1万人にインターネットアンケートを行い、気候危機などに直面する沖縄のサンゴ礁の保全について、仮定の保全対策と寄付金額の組合せを複数回選択してもらった。簡略な説明と詳細な説明を提供した場合は寄付してもよいと思う金額（支払意志額）が12～19%増加した一方で、動画の説明を提供した場合は逆に5～7%減少した（図1.13）。これらの結果は気候危機対策など環境保全への協力を呼びかける際に提供する情報の量や提供方法の重要性を示唆する。

現在、同じ実験デザインで高山植物について行った論文の投稿準備中である。その結果では、情報提供の種類と回答者属性の間に相互作用があることが統計的に検出されている。

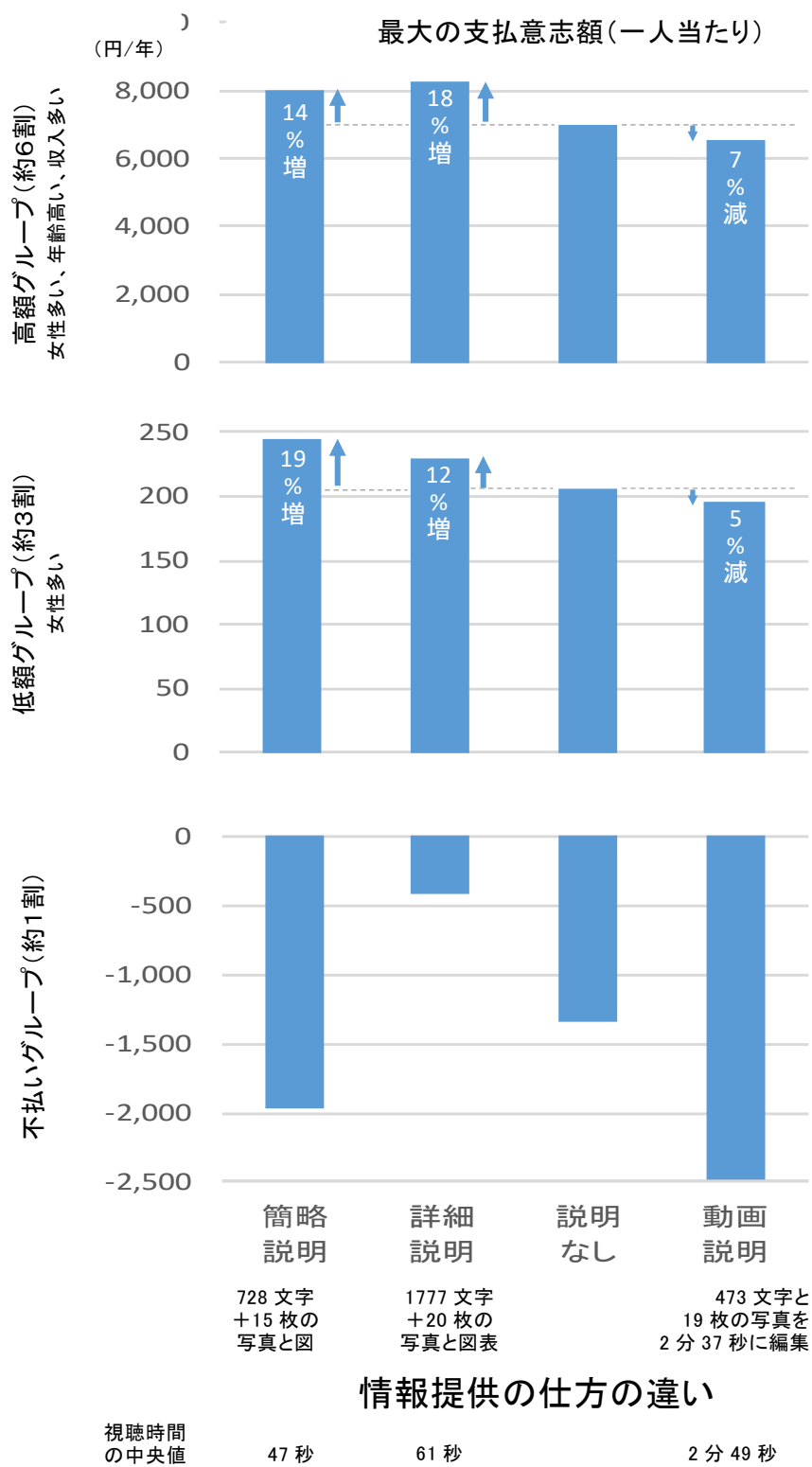


図 1.13 情報提供の量や方法が回答者の協力意識（支払意志額）に与える影響

#### 4-3. サブテーマの情報作成のサポート

サブテーマ2～6で開発される情報作成を進めるため、開発に必要な情報の収集と提供、サブテーマ毎に関係者とのリスクコミュニケーションの場を必要に応じて設定するなどの研究推進にあたり、サブテーマ1では以下のサポートを行った。

##### 1) サブテーマ2

信州・気候変動モニタリングネットワークで収集した長野県河川課が観測する雨量のデジタルデータおよびそれ以前の紙媒体の雨量年表を収集し、サブテーマ2に提供した。

##### 2) サブテーマ3

国民との対話の機会を確保し、その成果について情報発信を積極的に行った。

##### 3) サブテーマ4

研究成果の活用などについて意見交換の場を設定した。2020年7月4日には、飯山市危機管理防災課担当者で行った。土砂災害危険区域毎に発生危険度をランク付けした研究成果の情報をどう活用できるかどうかについて意見交換をしたところ、住民には危険度付きの情報を公開することに対して不安がある一方、災害復旧の優先順位付けという観点からは内部資料としての利用は可能との意見が出た。

2021年2月22日には、飯田市危機管理担当で行った。土砂災害警戒区域毎の優先順位付けとなる資料はすごい参考になる。可視化したマップはいいと思うが、リスクのレベルになるのか数字でわかるとよりよい。大きな災害時の累積降水量の時間変化はわかりやすい資料などの意見をいただいた。その他、脆弱性評価の感受性の部分として、土砂災害警戒区域でのハード対策の施工実績（どこに、どんな工法で施工がされていて、それが何年経過しているのかなど）を地図に重ねあわせてもらえると、リスクの程度を判断しやすくなる。

##### 4) サブテーマ5

以下の意見交換の場を設定した。

2019/11/19 気象庁の週間アンサンブル予報を活用することについて、気象庁と意見交換。

2019/12/13 凍霜害の現場が求める情報について、長野県農業試験場と意見交換。

2020/11/16 凍霜害予測について、長野県農業試験場と気象庁と意見交換。

2021/12/15 凍霜害に関する意見交換会実施。長野県農業試験場、気象庁が参加。凍霜害リスクの将来予測や早期警戒情報の作成について発表と議論。凍霜害の早期警戒情報については引き続き精度の向上と情報発信方法を検討することともに、どの場所が凍霜害になりやすいかなどを視覚的に示すリスクマップの作成について意見が出された。

2021/3/17 凍霜害の研究先進地である福島県果樹試験場と意見交換。

##### 5) サブテーマ6

小中学校での熱中症の調査を実施するにあたり、長野市教育委員会に相談をし、市内小学校から調査を引き受けてくれる学校を選定していただいた。研究成果を気候変動緩和と適応の観点から考えるため、長野県庁環境政策課およびゼロカーボン推進室との意見交換の場を設定した。小学校における調査結果と今後の展開について、長野市教育委員会への報告とあわせて相談の場を設定した。

#### 4-4. LCCACの情報デザインの参考書の作成

##### 1) 情報作成の手引き（案）の作成

気候変動適応の推進のため求められている情報とその情報作成にあたりLCCACがかかえる課題（4-1）に対し、サブテーマ1から6において作成された情報を、情報の収集から分析にいたる情報デザインとして整理した「気候変動適応に係る情報作成の手引き（案）～情報収集・整理・分析のための情報デザイン～」を作成した。この手引き（案）は気候情報、影響情報、適応策情報の3つの章からなり、各章に基本情報編と応用情報編とにわけて、LCCACの取組易さに応じた整理を

行った．この手引き（案）では、気候変動に関する情報を作成するにあたってその流れやポイントをまずつかむことに主眼をおいたため、いわゆる手順を示すマニュアルとは異なっている．今後は国立環境研究所が主催する隔月で行われている地域気候変動適応センターの定例会議やA-PLAT Labなどの場において、手引き（案）に対する意見をいただきながら修正等を行った上で公開することを予定している．なお、手引き（案）は別添の資料1として本報告書とは別に提出する．

## 2) LCCACの活動事例集の作成

LCCACに求められている情報の収集、整理、分析、発信などの活動については標準的な活動内容や方法が決められているわけではなく、各地域センターで試行錯誤しながらさまざまな活動を行っている．LCCACへのアンケート調査およびヒアリング調査からは各センターがどのような活動をしているのかがわかる事例集のようなものがあると参考になるという意見が多数あったことから、追加的にLCCACの活動事例集（図1.14）を作成した．この中ではLCCACで実際に取り組まれた202の活動事例を収集の中から、「情報収集」「調査分析」「普及啓発」「相談支援」の4つのカテゴリーに分け、それらを活動に必要な専門性で分類した上で、事例の数と地域バランスを考慮して選んだ40の事例について紹介している．現在、事例集はA-PLAT LabからLCCACに提供するよう準備を進めている．A-PLAT Labは限定的な公開の場であるが、事例集の中には予算など一部非公開の情報を含めて記載しているためである．事例集は手引き（案）とあわせて、LCCACの今後の活動に資する資料と考えている．なお、事例集は別添の資料2として本報告書とは別に提出する．



図 1.14 LCCAC活動事例集の見本

## 5. 研究目標の達成状況

気候変動適応の推進のために必要とされている情報とその情報の作成にあたりLCCACが抱える課題を収集整理した．また、情報デザインの一例としては、信州気候変動適応センターの活動として実施した気象データの収集整理、気候変動予測情報のGIS情報化、市町村や県民向けアンケート調査による地域課題の収集、生態系への影響評価情報の作成などを行った．さらに、サブテーマ2～6で開発される情報作成を進めるため、開発に必要な情報の収集と提供、サブテーマ毎に関係者とのリスクコミュニケーションの場を必要に応じて設定するなど、研究推進にあたりサポートを行った．

最終的に、気候変動適応に必要な情報とその情報作成に際しての課題に対し、サブテーマ1から6において作成された情報を、情報の収集から分析にいたる情報デザインとして整理した「気候変動適応に係る情報作成の手引き（案）～情報収集・整理・分析のための情報デザイン～」を作成した．また、



LCCACへのアンケート調査およびヒアリング調査からは各センターがどのような活動をしているのかがわかる事例集のようなものと参考になるという意見が多数あったことから、追加的にLCCACの活動事例集「地域気候変動適応センターによる情報収集・整理・発信事例集」を作成した。これら資料をLCCACに公開する準備を行った。

以上から、研究目標は予定どおりおおむね達成できたと考える。加えて、信州気候変動適応センターの活動としての情報デザインを9事例作成したこと、およびLCCACの活動事例集を作成したことは予定以上の成果をあげることができたと考える。

## 6. 引用文献

- 1) 西森基貴、石郷岡康史、桑形恒男、滝本貴弘、遠藤伸彦：シミュレーション，38巻3号，150-154（2019）農業利用のためのSI-CAT日本全国1km地域気候予測シナリオデータセット（農研機構シナリオ2017）について。
- 2) J. O. Haerter, S. Hagemann, C. Moseley, and C. Piani: Hydrol. Earth Syst. Sci., Vol.15, 1065-1079 (2011) (IF:5.7) Climate model bias correction and the role of timescales.
- 3) 清野 豁：農業気象，48巻4号，379-383（1993）アメダスデータのメッシュ化について。
- 4) N. N. Ishizaki, M. Nishimori, T. Iizumi, H. Shiogama, N. Hanasaki, and K. Takahashi: SOLA, Vol.16, 80-85, (2020) (IF:2.2) Evaluation of two bias-correction methods for gridded climate scenarios over Japan.
- 5) S. Matsushashi et al. : Forest Ecology and Management, 463 : 118010. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118010>. (2020)

## Ⅱ－２ 精密気象分布データ作成のための高密度気象データベースの構築

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター  
寒地畑作研究領域 スマート畑作グループ 石郷岡 康史  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境研究部門  
気候変動適応策研究領域 作物影響評価・適応グループ 桑形 恒男  
滝本 貴弘

### 〔要旨〕

地域を対象とした気候変動影響を適切に評価するためには、長期且つ高密度で時空間的に均質な気象データが必要不可欠である。長野県においては気象庁の設置している観測点に加えて長野県や国土交通省により高密度な観測が比較的長期間実施されているが、管理運営主体が異なる気象観測データはデータの書式や地点管理の方法がそれぞれで異なり、これらのデータを横断的に利用することが難しい状況である。この問題を解決するため、本サブ課題では気象庁を含む複数の機関により観測された気象データを、品質管理や統計処理法の均質化を図り、ユーザーが利用しやすい形式でデータベース化することを目指す。まず長野県内の気象庁を含む複数の機関による気象観測の実態を調査し、各機関による実測気象データおよび観測地点等に関するメタデータの収集整備を行う。観測データは全て統一フォーマットに変換し、地点情報も一元的な管理が可能になるよう系統的に整備した。長期気候変動解析への利用を想定し、観測期間や欠測情報、地点移動、観測点周辺土地利用の変化に関する情報を、全地点に関して整理した。これらの情報は地図ベースのプラットフォームに登載できるようにKML化し、Google Earth上で地点間の位置関係等が視覚的に確認できるようにした。また、Google Earth上で地点をクリックすると観測項目や観測期間、欠測情報といった詳細な地点情報が表示され、ユーザーが目的とするデータにたどり着くまでの負担が大きく軽減されることが期待される。また、共通フォーマット化された実測データは地点管理情報とリンクし、作成したデータ検索ツールにより時期や範囲を指定した横断的なデータ抽出が可能となった。

### １．研究開発目的

気候変動による影響評価や適応策の社会実装に取り組むにあたり、空間的に高密度かつ精度の高い気象情報が必要不可欠である。わが国の地上気象観測は主に気象庁により実施されており、その中の地域気象観測（アメダス）で、気温、降水量、日照時間、風向風速の4要素を観測している観測点は全国約930地点と比較的高密度（約17km毎に1地点）であるといえるが、特定の地域を対象とした場合、特に長野県のような地形の複雑な地域においては、気象環境の空間分布が複雑であり、観測値の空間代表性の点で不十分といえる。そのため長野県においては「信州・気候変動モニタリングネットワーク」により、気象庁以外も含む種々の機関による気象観測データの収集を行っており、現在までに多数の地点の観測データの収集を進めている。しかしながら、管理運営主体が異なる機関毎の観測方法や観測精度、データの集計方法、データの保存形式が一貫しておらず不均一性が課題となっている。そのため、時間的、空間的な均質性が必要条件となる気候変動解析を目的とした利用を考えた場合、ユーザーにとって利用しやすい状況とは言えず、地域の影響評価や適応策の社会実装に十分に利用されるには至っていない。

本サブ課題では、長野県をモデル地域とし、気象庁を含む複数の機関により観測された気象データを、品質管理や統計処理法の均質化を図り、ユーザーが利用しやすい形式で提供できるための情報デザインを開発することを目的とする。

### ２．研究目標

長野県をモデル地域とし、気象庁を含む複数の機関により観測された気象データを収集し、気象庁

で定めている観測や統計に関する指針に従い品質管理や統計処理法の均質化を図る。地域スケールでの気候変動影響評価や適応技術の社会実装への利用に適した、空間的に高密度かつ高精度の気象データベースを作成する。観測データと併せて観測地点のメタ情報も整備し、ユーザーが利用しやすい形式で気象データが提供できるツールを作成する。

### 3. 研究開発内容

本サブ課題における全体の研究実施手順のフローを、図2-1に示す。最初の手順としては、長野県内およびその周辺地域に設置されている、気象庁を含む様々な管理運営主体の異なる機関による気象観測所における実測データを収集する。同時に、機関毎に観測所メタ情報を整備し、観測要素、観測方法、観測期間、観測間隔といった観測方法や、観測地点の位置情報（緯度、経度、標高）、周辺の地形や土地利用情報を系統的に整備する。収集したデータについては、気象庁以外のデータについては気象庁の気象観測統計指針（令和2年版）（気象庁，2020）に従い、観測データの品質管理と必要な修正や補正、再統計を行い、全てのデータの均質化を図る。また、全ての実測データについて共通書式により統一規格化し、高密度気象データベースを作成する。ユーザーによるデータへのアクセスは、複数機関による観測点の地位関係を視覚的に把握できるように、地図ベースのプラットフォームを通して行えるようにする。同時に、詳細な数値データに関しては、表形式で取りまとめて外部公開用のWebサイトを作成する。

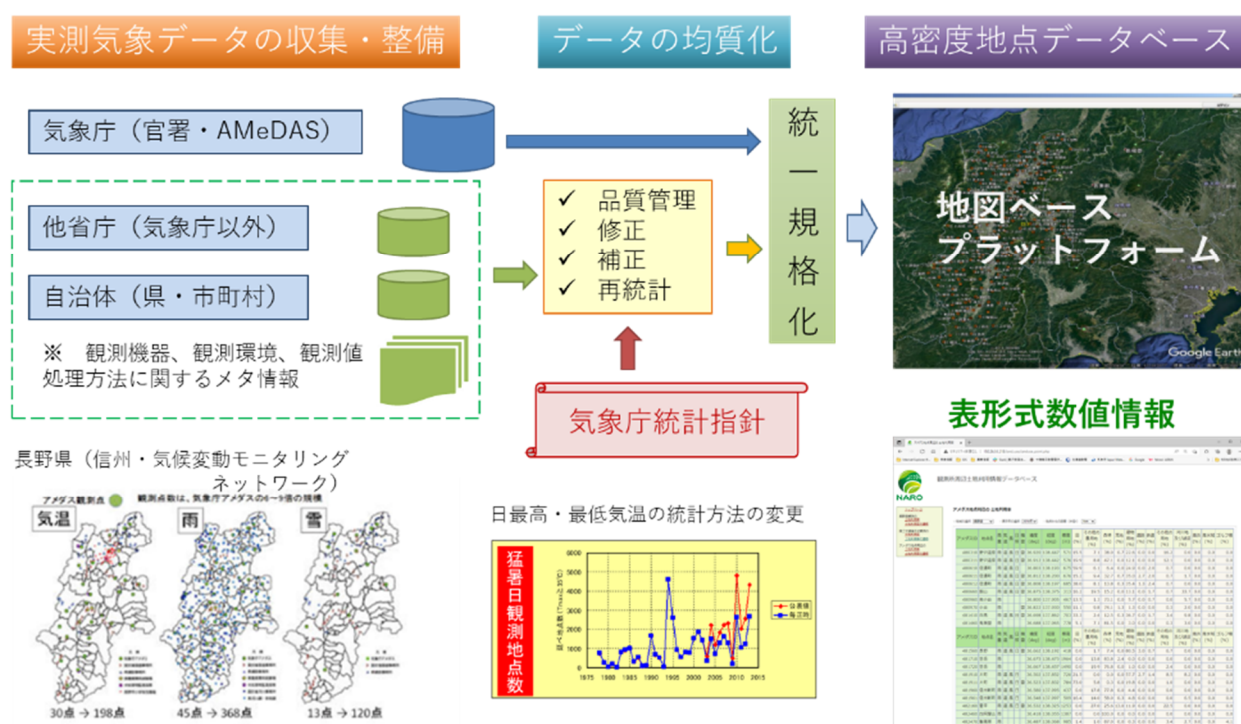


図2-1 研究の全体フロー

### 3-1. 実測気象データの収集・整備

先ず、長野県内および周辺地域において実施されている地上気象観測の情報を収集し、入手方法、利用ポリシー、公開の可否等を確認する。地上気象観測は、長野県において様々な機関が管理運営主体となり実施されている。長野県では、気候変動影響評価および適応策策定も目的として、「信州・気候変動モニタリングネットワーク」が2014年に設立されており、気候変動に関する観測データの収集整備およびこれらを活用した情報発信を行っている（信州・気候変動モニタリングネットワーク Webサイト；URL: <https://shinshu-moninet.org/>）。

信州・気候変動モニタリングネットワークでは、気象庁の他、国土交通省や長野県建設部河川課および砂防課が主体となって観測するデータを収集している。本サブ課題では、主に信州・気候変動モニタリングネットワークにより収集されたデータについて、共通フォーマット化を図り、観測機関の異なるデータをシームレスな取り扱いが可能となるよう整備する。また、各自治体（市町村）が運営する気象観測システムに関しても情報収集し、観測機器の性能や設置環境、観測地の管理状況、データ品質を確認し、上記データと同列な扱いが可能かどうか検討する。以下、データ整備の基準となる共通フォーマットについて説明し、各機関による気象観測の概略と収集整備方法について述べる。

#### 0) 気象データ共通フォーマット

本課題において、収集した実測気象データは全て予め定めた共通形式に変換し、データベースに格納する。共通フォーマットは、集計期間（日別値、時別値、10分値、1分値、10秒値）毎に、以下のよう

##### ・日別値

年(4)、月(3)、日(3)、積算日数(4)、データ(12)、改行コードの順で記述し、1行1日とする（カッコ内はバイト数）。なお、積算日数は、各年1月1日を1とした累積の日数である。

##### ・時別値

年(4)、月(3)、日(3)、積算日数(4)、データ(8×24)、改行コードの順で記述し、1行1日とする（カッコ内はバイト数）。1行のデータ期間は、1:00～24:00とする。

##### ・10分値

年(4)、月(3)、日(3)、積算日数(4)、データ(8×144)、改行コードの順で記述し、1行1日とする（カッコ内はバイト数）。1行のデータ期間は、0:10～24:00とする。

##### ・1分値

年(4)、月(3)、日(3)、積算日数(4)、時刻(3)、データ(8×60)、改行コードの順で記述し、1行1時間とする（カッコ内はバイト数）。1行のデータ期間は、1分～60分とする（例えば、1時の行の最終データは、1時60分すなわち2時00分となる）。

##### ・10秒値

年(4)、月(3)、日(3)、積算日数(4)、時刻(3)、データ(8×360)、改行コードの順で記述し、1行1時間とする（カッコ内はバイト数）。1行のデータ期間は、0分10秒～60分00秒とする（例えば、1時の行の最終データは、1時60分00秒すなわち2時00分00秒となる）。

ファイル名は、各集計期間のデータに対し、以下に示す同一規則で与えることとする。

[要素記号]\_[地点ID]\_[年].txt

各要素記号と要素名、単位一覧を、表2-1に示す。10秒値、1分値についても、原則以上の規則に則ったファイル名とする。

表2-1 各種データの要素記号と要素名、単位一覧

| 10分値 |            |                    | 時別値  |           |                    | 日別値  |            |                    |
|------|------------|--------------------|------|-----------|--------------------|------|------------|--------------------|
| 要素記号 | 要素名        | 単位                 | 要素記号 | 要素名       | 単位                 | 要素記号 | 要素名        | 単位                 |
| tm   | 気温         | °C                 | tm   | 気温        | °C                 | tm   | 日平均気温      | °C                 |
| tx   | 前10分最高気温   | °C                 | pr   | 前1時間降水量   | mm                 | tx   | 日最高気温      | °C                 |
| tn   | 前10分最低気温   | °C                 | rh   | 相対湿度      | %                  | tn   | 日最低気温      | °C                 |
| pr   | 前10分降水量    | mm                 | td   | 露点温度      | °C                 | pr   | 日降水量       | mm                 |
| rh   | 相対湿度       | %                  | vp   | 水蒸気圧      | hPa                | px10 | 日最大10分間降水量 | mm                 |
| hn   | 前10分最低相対湿度 | %                  | ap   | 現地気圧      | hPa                | px60 | 日最大1時間降水量  | mm                 |
| td   | 露点温度       | °C                 | sp   | 海面気圧      | hPa                | rh   | 日平均相対湿度    | %                  |
| vp   | 水蒸気圧       | hPa                | sd   | 前1時間積算日射量 | MJ m <sup>-2</sup> | hn   | 日最低相対湿度    | %                  |
| ap   | 現地気圧       | hPa                | st   | 前1時間日照時間  | 時間                 | vp   | 日平均水蒸気圧    | hPa                |
| sp   | 海面気圧       | hPa                | sn   | 積雪深       | cm                 | ap   | 日平均現地気圧    | hPa                |
| sd   | 前10分積算日射量  | KJ m <sup>-2</sup> | vw   | 視程        | km                 | sp   | 日平均海面気圧    | hPa                |
| st   | 前10分日照時間   | 分                  | ws   | 平均風速      | ms <sup>-1</sup>   | sd   | 日積算日射量     | MJ m <sup>-2</sup> |
| sn   | 積雪深        | cm                 | wd   | 平均風向      | 16方位               | st   | 日照時間       | 時間                 |
| vw   | 視程         | km                 |      |           |                    | sn   | 積雪深        | cm                 |
| ws   | 平均風速       | ms <sup>-1</sup>   |      |           |                    | ws   | 日平均風速      | m s <sup>-1</sup>  |
| wx   | 前10分最大風速   | ms <sup>-1</sup>   |      |           |                    | wx   | 日最大風速      | m s <sup>-1</sup>  |
| xx   | 前10分最大瞬間風速 | ms <sup>-1</sup>   |      |           |                    | xx   | 日最大瞬間風速    | m s <sup>-1</sup>  |
| wd   | 平均風向       | 16方位               |      |           |                    | wd   | 平均風向       | 16方位               |

なお、観測機関や統計種類（日別、時別等）の違いは、格納するディレクトリ名で区別する。

## 1) 気象庁

現在、気象庁で実施している地上における気象観測施設としては、地上気象観測（以下、官署）と地域気象観測（以下、AMeDAS）の2種類がある。長野県においては、官署が5か所、AMeDASが45か所（気温を観測している地点は30か所）設置されている。実測データは、気象庁HPの気象データ検索サイト

（URL: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>）で公開されている他、気象業務支援センターにおいて、2010年以前分に関しては、気象庁年報（官署）、アメダス年報（アメダス）として、2010年以降分に関しては、気象観測月報（官署、アメダス）として販売されている。本サブ課題では、気象業務支援センターより、上記データを購入した。

気象庁の官署、アメダスデータについては、提供されるデータは全て電子化されており、またオリジナルファイルのフォーマットも明確になっていることから、比較的単純な手順により共通フォーマット化が可能である。一方、観測地点管理については、比較的頻繁に地点移動が発生し、長期時系列的な均質性が保持されているかどうかの判断が必要となる。地点移動については特にアメダスで頻繁であり、IDも時折変更されることから、地点管理が極めて煩雑となる。本サブ課題では、新規にIDを付与することで、地点管理を容易にする試みを実施した。

## 2) 国土交通省

国土交通省河川局では、河川管理や災害防止を目的として、全国の主要河川において水位・流量、雨量等の観測を実施している。本課題では、雨量のみを対象とした。雨量観測の地点数は全国で約2800か所であり、そのうち長野県には113か所設置されている。実測データは、国土交通省が運営する水文水質データベース（URL: <http://www1.river.go.jp/>）、あるいは（公社）河川協会より発行、販売されている「雨量・流量円年表データベース（DVD）」より入手可能である。本課題では、上記データソースより、日別実測データおよび観測地点情報を得た。

国土交通省データについては、比較的古い時期（1938年）からデータのデジタル化が進められており、本サブ課題で対象とした期間については、全て電子ファイルからの自動変換が可能であった。しかしながら、観測地点IDが年次により変動し、地点の追跡が極めて困難な場合があり、長期時系列的に結合できた地点は年代が古いほど少なくなった。



### 3) 長野県

長野県建設部河川課および防災課では、県内の河川管理や災害防止を目的として、県全域にわたり約215か所の観測点で降水量の観測を実施している。観測地点は、気象庁のアメダス観測地点と比較して地点数が多いのみならず、アメダス観測点が欠乏している高標高地域にも数多く分布し、高標高地域の降水の実態解明が期待されている（大和ほか，2017）。実測データは、長野県が運営するwebサイト

「長野県河川防災ステーション」（URL: [https://www.persons.sabo-nagano.jp/res/home\\_person.html](https://www.persons.sabo-nagano.jp/res/home_person.html)）においてリアルタイムで提供されている。但し、上記Webサイトで閲覧できるデータは最近の分に限定され、本サブ課題が目的とする気候変動解析に有用な長期のデータについては、観測実施機関より別途入手する必要がある。

上記機関より、1970年から2020年までの降水量の実測データの供与を受けた。但し、1970年から2004年まではデジタル化されておらず、観測原簿が紙の冊子で保管されていたため、データと地点情報をExcelファイルに打ち込みデジタル化した。この期間においては、観測地点数は少なく50～60地点である。2005年以降は電子データとして保存されていたが、年によりフォーマットが異なる等共通フォーマット化には複雑な作業が必要となった。

### 4) 市町村

信州・気候変動モニタリングネットワークに含まれていないが、長野県内の一部自治体（市町村）が独自に気象観測システムを展開している事例があり、本サブ課題におけるデータベースへの取り込みの可能性について検討した。なお、ここで対象とした自治体は、実測データをWebサイトに掲載し、ユーザーを限定せずに気象データを利用できる状態としていることを条件とした。地点情報や実測データは、それぞれの自治体が立ち上げている気象情報提供を目的としたWebサイトより、可能な範囲で入手した。

#### 3-2. 観測地点メタ情報・品質情報の整備

機関毎に観測地点に関する情報の収集整備を進め、本プロジェクトにおける管理用IDを各地点に付与し、各地点の名称（地点名：漢字、かな、英字）、位置情報（緯度、経度、標高、住所等）、観測期間、観測項目、観測履歴（地点移動や観測項目の変更等）といった基本メタ情報に加え、データ品質として観測期間内の欠測数を集計した。欠測数は、月毎に観測日数の20%を基準とし、超過した場合には当該月の統計値としては利用しないこととした（気象庁気象観測統計指針に従う基準）。

長期モニタリング地点としての適否の判定に重要となる情報として、観測地点の移設に加えて観測地点周辺環境の変化が重要である（村上ほか，2011）。そこで、各機関の全観測地点について、設定した半径以内の各土地利用の面積割合を集計する。その際、複数年次の土地利用情報について同一基準で集計し、年次間で土地利用割合を比較することで土地利用の経年変化を明確化することとした。土地利用データは、国土数値情報の土地利用細分メッシュデータ（約100m解像度）を使用した。このデータは全国を対象に3次メッシュ1/10細分区分毎に、各土地利用区分に分類したものである。但し、土地利用区分は年次により異なるため、土地利用の時系列変化を見る場合には、土地利用区分の集約が必要となる場合がある。現在国土数値情報で配布されている年次は、1976、1987、1991、1997、2006、2009、2014、2016年の8か年である。各土地利用区分の集計に使用する半径は、0.3、0.5、1、2、5、10kmとした（図2-2）。

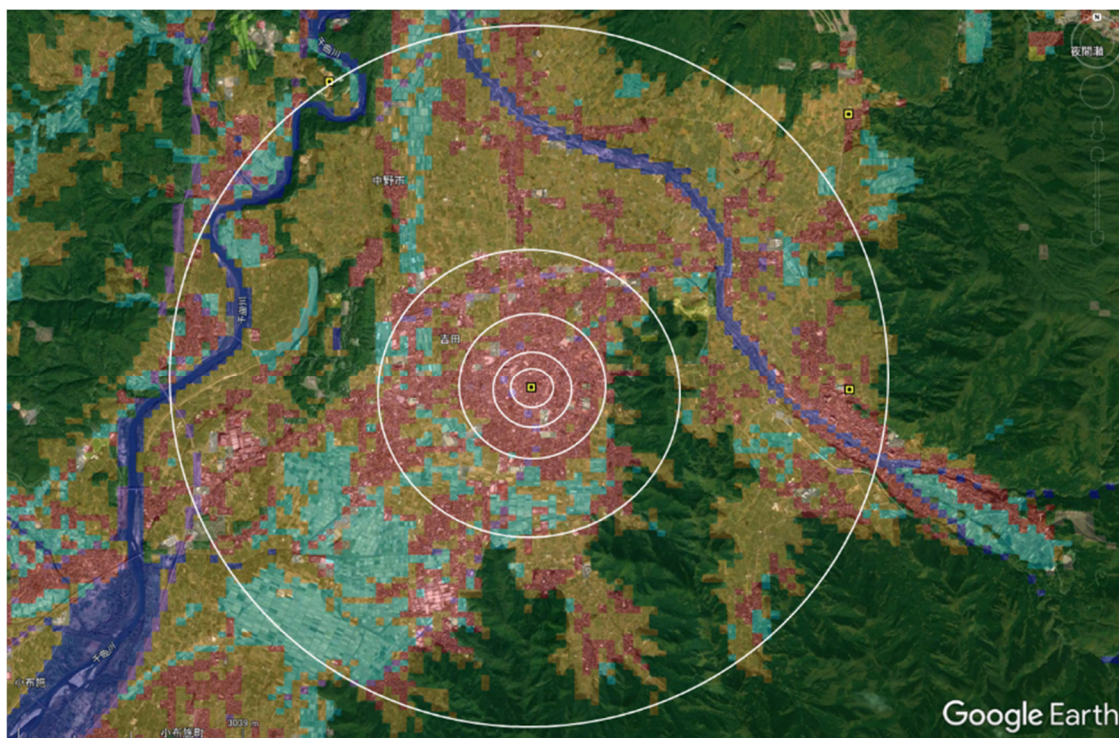


図2-2 土地利用区分と面積割合集計のイメージ  
 (白い円は観測地点からの半径を表し、地点から0.3、0.5、1、2、5kmまでを表示)  
 (Google Earth 画像を複製)

### 3-3. データの視覚化

整備した各機関の観測地点の位置情報等に基づき、各観測地点の位置関係が地図上で視覚的に確認できるよう、Google Earth上に観測地点を表示するためのKML (KMZ) ファイルを作成する。KML (Keyhole Markup Language) は、位置情報を持つコンテンツを地図上に表示するためのXMLベースの形式で、ポイントやライン、ポリゴンの他、画像等もコンテンツに含めることも可能である。KMLファイルは比較的小容量であるため、インターネットを通じた配信が容易であり、特にGoogle Earthをプラットフォームとした地図ベースのツール作成に有効な形式である (KMZは、KMLの圧縮形式)。

観測地点情報は、Microsoft Excel 上で形式を整備した後、Excelマクロ (VBA) を使用して各地点の位置情報や観測地点情報を順次読み込み、KMLファイルを作成した。土地利用情報として使用した各年次の土地利用細分メッシュデータは、ERDAS IMAGINE (Hexagon Geospatial) を利用してラスタ化 (IMG形式) し、ArcGIS (ESRI) を利用してKMZファイルに変換した。なお、土地利用メッシュデータは、1997年分以前は従前の測地系 (Tokyo Datum) のみで作成されているため、新測地系 (JGD2000) が使用されているGoogle Earthに重ね合わせるため、測地系を変換した。その際、2006年分以降は新旧両方の測地系で作成されているが、時系列的な均質性を考慮し、2006年分以降も旧測地系から変換したものを使用した。

## 4. 結果及び考察

気象庁 (アメダス)、国土交通省、長野県の、それぞれの観測地点分布を図2-3に示す。各地点を示すシンボルの色は、地点の標高を表す。アメダス観測点は、地点数は少ないが県全域に比較的均等に設置されている。国土交通省の観測点は、分布に比較的偏りが見られ、北部で少なく南東部に比較的高密度に分布している。長野県の観測点は、県全域に均等に分布しており、低標高から高標高の地域まで広くカバーできることが分かる。

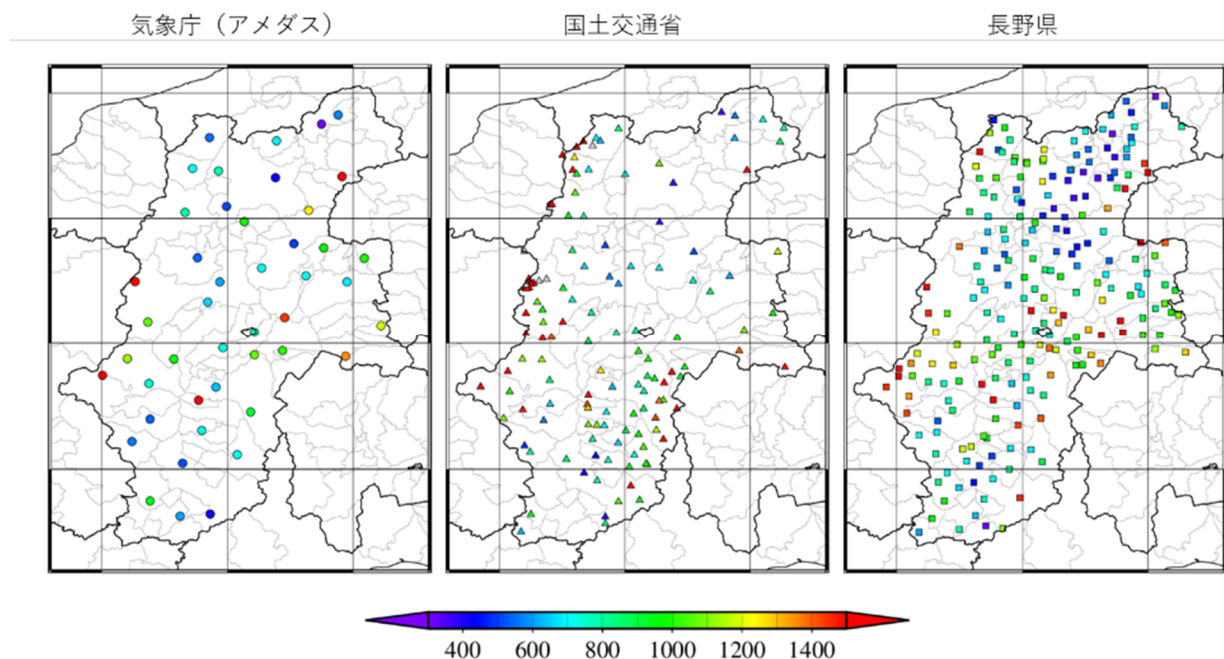


図2-3 各機関の観測地点の分布（カラーバー数値は標高）

各観測点の位置情報（緯度、経度）に基づき、地点リストをKML形式に変換し、Google Earth上で観測点をプロットすることで、それぞれの位置関係を視覚的に捉えられるようにした（図2-4左）。これにより、管理運営主体が異なる観測点の位置関係を一元的に捉えることが可能になり、目的に応じた適切な気象情報へのアクセスの利便性が向上し、ユーザーによる観測地点の探索の負担が大きく軽減されることが期待される。また、一部観測地点メタ情報をコンテンツに埋め込んでおり、アイコンをクリックすると地点情報が表示される（図2-4右）。地点情報は、地点名や観測所種別、緯度経度や住所等の位置情報、標高の他、観測データの品質に関する情報として各年各月のデータ取得状況が示されており、必要な時期のデータが適切に取得されているかが容易に把握できるようになっている。ここで、データ取得状況は、各月の欠測率が20%以下であれば“○”、50%以下であれば“△”、それ以上であれば“×”、観測されていない場合は“－”で示している。気象庁以外のデータについては地点数が多いが欠測が比較的多い傾向があり、この情報を活用することにより従前よりも効率的なデータの探索が可能となる。

さらに、国土数値情報の各年土地利用細分メッシュデータをKMZ形式に変換し、Google Earth上で地図画像とのオーバーレイが可能となった（図2-5）。Google Earthによる衛星画像と土地利用メッシュデータを重ね合わせることで、詳細且つ正確な観測地点周辺環境を把握することができる。更に、年次の異なる土地利用メッシュデータを重ねることで、観測地点周辺環境の時代による変化を視覚的に把握でき、観測値から得られる長期気候変動評価の妥当性の判断等に活用することが可能である。図2-5の例では、2016年（左図）には善光寺平の大半が市街地で占められているが、1976年（右図）には水田が広く分布しており、この期間に土地利用が大きく変化した地域が非常に多いことが認められる。また地図上にプロットされている観測地点について、この期間の周辺土地利用変化の影響の有無を把握することができ、長期気候変動解析に適切な地点の抽出への活用が期待される。



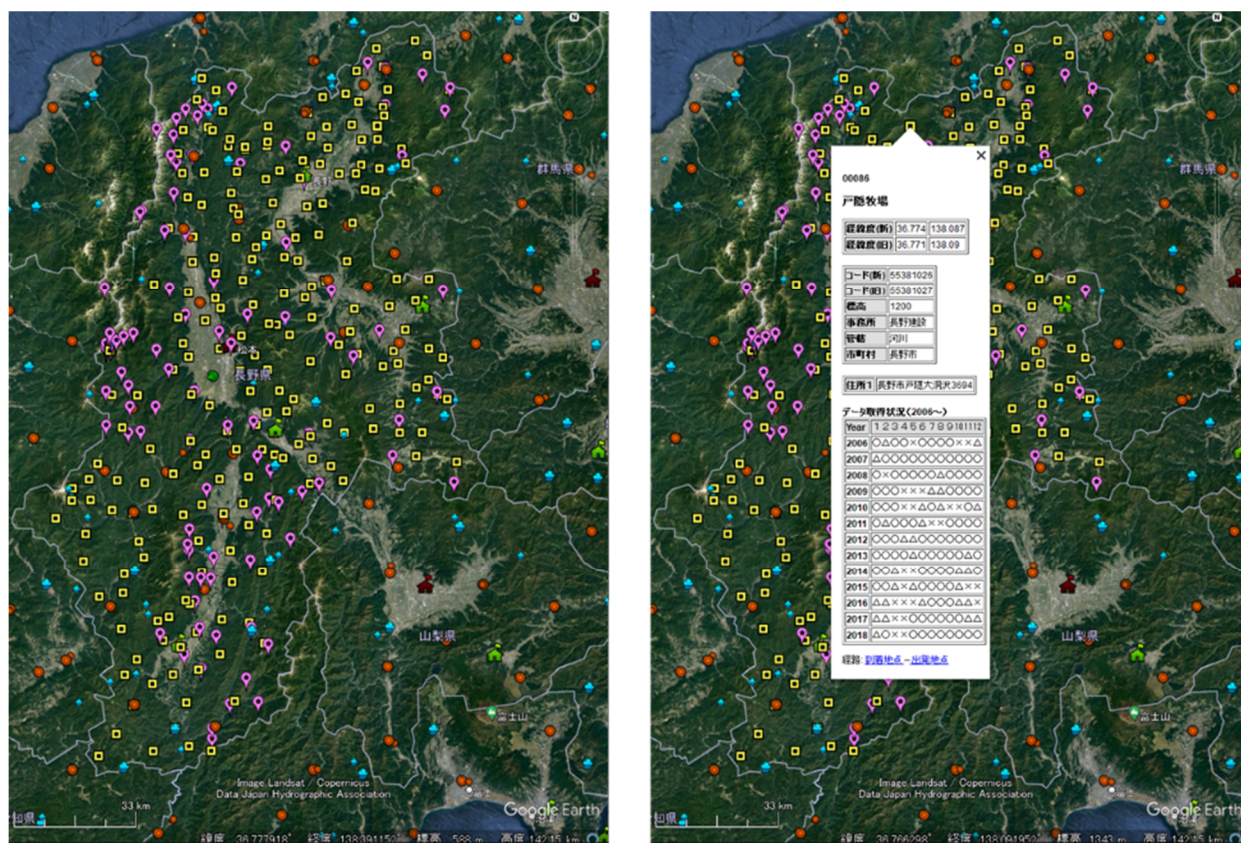


図2-4 Google Earth上にプロットした各機関による観測地点  
(Google Earth 画像を複製)

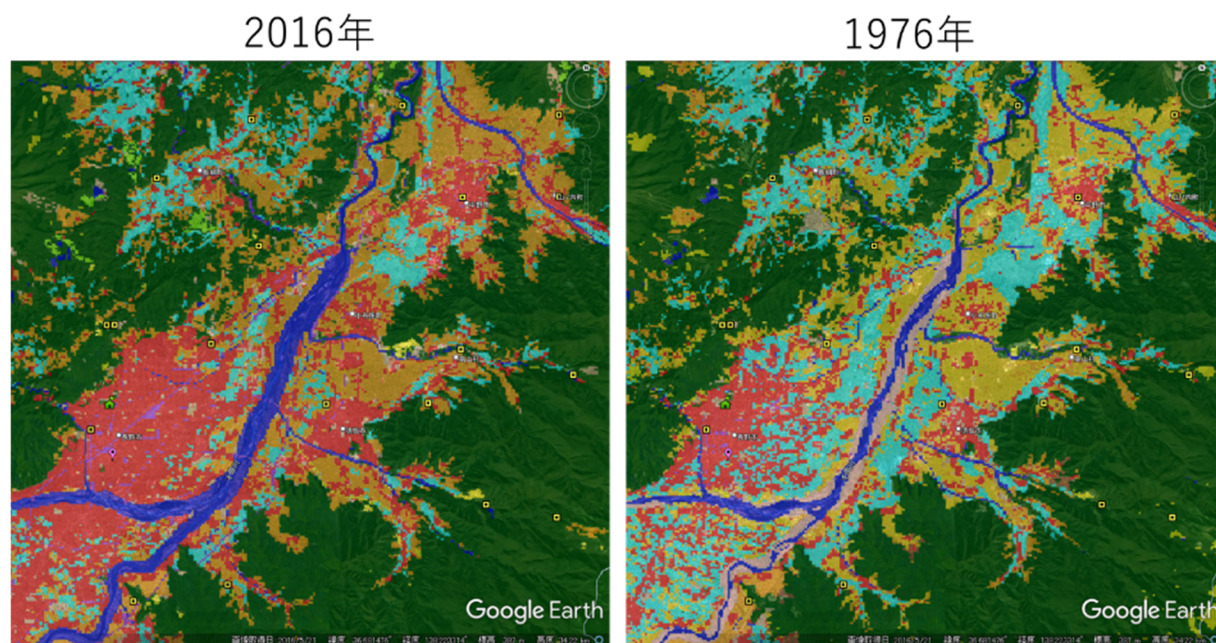


図2-5 異なる時期の土地利用メッシュデータとのオーバーレイ  
(Google Earth 画像を複製)

観測点の地図上へプロットする際、観測開始以降の観測点移動履歴も考慮しているため、同一観測地点の移設の状況も視覚的に追跡することができる。図2-6に、気象庁アメダス観測地点「野沢温泉」の例を示す。当該観測地点は、従前は市街地の中に設置されていたが、2007年12月19日に南南西約1kmの郊外に移設となった。移動距離が比較的短く標高差も5m (571m→576m) と小さいため、気象庁では統



計切断とは判断されていないが、観測地点周辺環境が大きく変化したことにより、特に気温や風速の長期変化傾向に大きく影響を与えると推察される。本サブ課題では、地点移動が発生した観測点については新規地点として別のIDを与え、ユーザーにより移動による観測値への影響の判断が可能になるようにした。

|     | 元ID   | 新規ID   |    |      |    |
|-----|-------|--------|----|------|----|
| 2   |       |        |    |      |    |
| 3   | ID    | ID*    | 種別 | 漢字   |    |
| 972 | 48031 | 480310 | 4S | 野沢温泉 | ノサ |
| 973 | 48031 | 480311 | 4S | 野沢温泉 | ノサ |
| 974 | 48061 | 480610 | 4  | 信濃町  | シナ |
| 975 | 48061 | 480611 | 4S | 信濃町  | シナ |
| 976 | 48061 | 480612 | 4S | 信濃町  | シナ |
| 977 | 48066 | 480660 | 4S | 飯山   | イサ |
| 978 | 48096 | 480960 | 1  | 南小谷  | ミナ |
| 979 | 48097 | 480970 | 1S | 小谷   | オサ |
| 980 | 48141 | 481410 | 4S | 白馬   | ハク |
| 981 | 48146 | 481460 | 1  | 鬼無里  | キナ |
| 982 | 48156 | 481560 | 4S | 長野   | ナガ |
| 983 | 48171 | 481710 | 1  | 笠岳   | カサ |
| 984 | 48172 | 481720 | 1  | 笠岳   | カサ |

↑  
**下一桁は移動回数**

**野沢温泉(48031)の場合**



**位置が移動した場合(緯度、経度の変化で判断)は新規地点**

図2-6 新規IDの付与と地点移動の視覚化

(右図はGoogle Earth 画像を複製)

観測地点周辺の土地利用情報の詳細については、「観測所周辺土地利用情報データベース」として一般公開用のWebサイトを作成した(図2-7)。このデータベースは、長野県、国土交通省、気象庁(アメダス)の各観測所について、算定した観測点周辺の土地利用情報を表形式で取りまとめたものである。地点からの半径(0.3、0.5、1、2、5、10km)と使用した土地利用情報の年次(1976、1987、1991、1997、2006、2009、2014、2016年)が選択でき、それぞれについて土地利用区分(田、畑、森林、都市等)毎の面積割合の数値が表示される。

同Webサイトでは、各観測地点周辺の土地利用区分面積割合の時系列遷移を示すグラフを表示する機能を有している。図2-8は、気象庁アメダス観測地点「穂高」における観測点からの半径毎の周辺土地利用割合の経年変化を示したものである。この地点では近年都市化が急激に進行し、特に観測点から近い領域の水田面積割合が急激に減少するに伴い都市の面積割合が増加し、最近では都市が9割以上を占めるようになっている。このような周辺土地利用の急激な変化は気象観測値へも大きく影響すると推察され、データを時系列的に利用する際には注意が必要であると判断される。





図2-7 観測所周辺土地利用情報データベースの概観

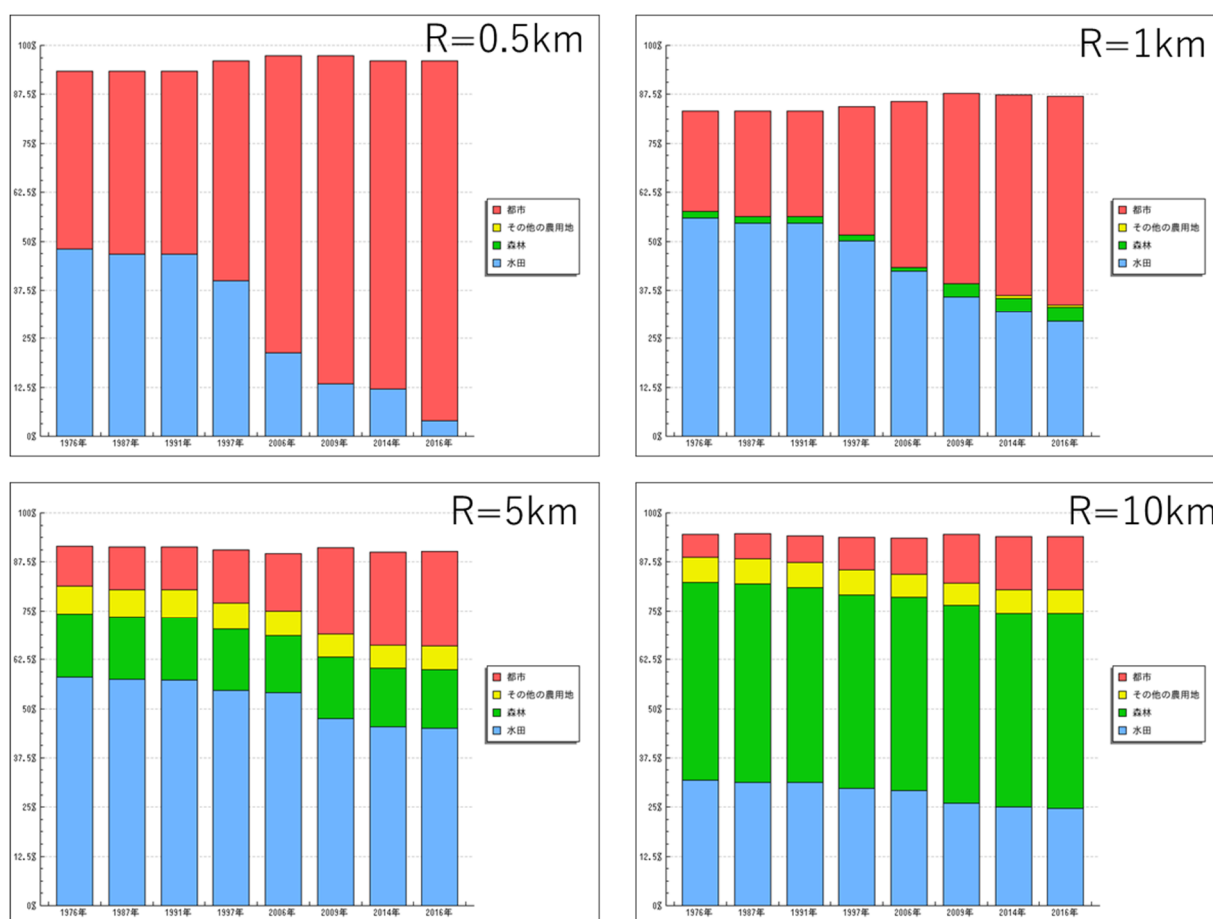


図2-8 アメダス観測点「稲高」における観測地点周辺の土地利用割合の経年変化（1976～2016）

各機関による実測データは、予め定めた共通フォーマット化し、新たに付与されたIDで観測地点リストとリンクされた。各観測地点の観測期間や欠測情報から、指定した条件でのデータの抽出が可能となった。そのため、条件に合致するデータを一括して検索し、利用しやすい形式で抽出するツールがあれば利用価値は高い。そこで、Microsoft Excelをベースとした、指定した期間および範囲のデータを抽出できるツールを作成した。本ツールでは、指定した期間の日別データを各機関の観測地点から抽出してExcelワークシートに出力するが、その際に欠測情報を参照し、必要な期間にデータが揃っている地

点のみを抽出する機能を付した。これにより抽出させる地点数はケースバイケースとなるが、有用なデータのみ効率的に入手することが可能となる。一例として、図2-9に、長野県に大きな洪水被害をもたらした2019年10月の台風19号通過時の日降水量の抽出結果を示す。連続3日間の日降水量を示し、機関毎に異なるシンボルで表示した。大量の降水がもたらされた10月12日を見ると、東部で降水量が非常に多くなっているが、地域毎の空間的に詳細な分布状況が明確に把握することができる。同様に、一定期間の積算降水量や、特定の流域や行政区画のデータのみを抽出することも可能であり、データの入手に係る負担が大きく軽減されることが期待される。

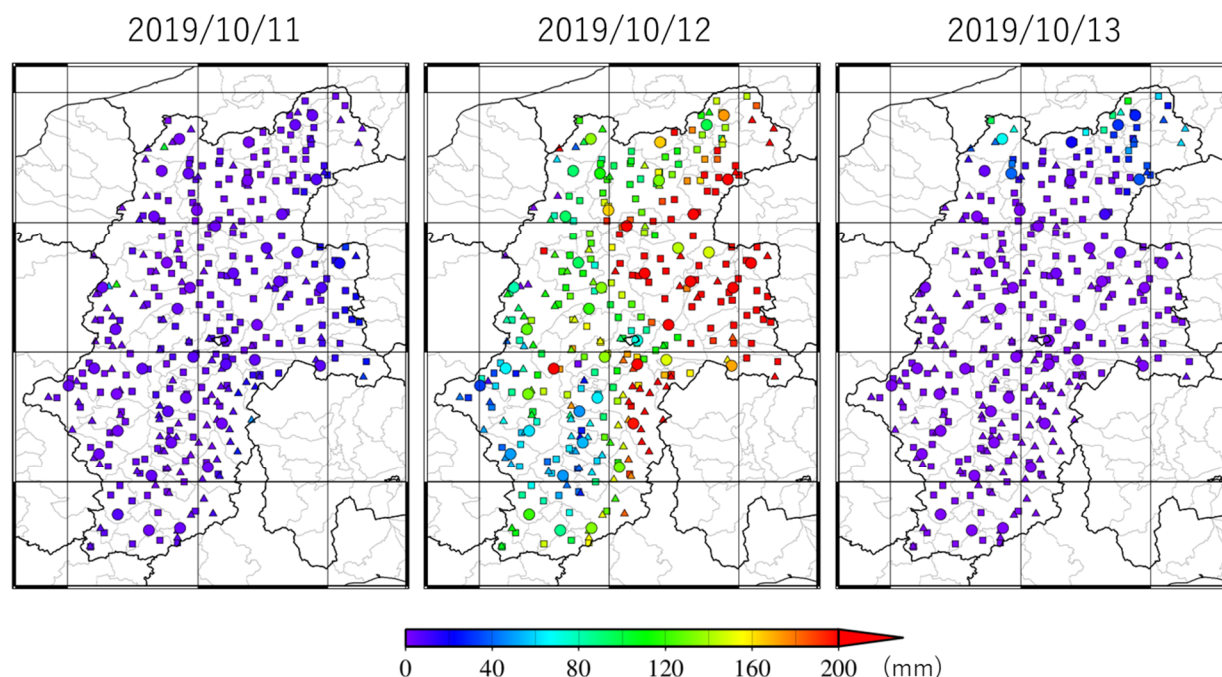


図2-9 全観測点における日別降水量 (mm) の分布 (2019年10月台風19号通過時の例)

(○ : アメダス、△ : 国土交通省、□ : 長野県)

信州・気候変動モニタリングネットワークに含まれていないが、一部自治体(市町村)が独自に気象観測システムを展開している事例があり、本プロジェクトにおけるデータベースへの取り込みの可能性について検討することとした。令和元年度は、独自気象観測システムを持つ自治体の中の、南牧村、川上村、山形村、箕輪町、駒ヶ根市を対象として、Webサイトに掲載されている情報から観測地点のメタ情報(位置情報、観測項目等)を取得した。その後現地を訪問し、設置観測施設の位置、立地条件、観測機器設置状況等の調査と、観測システムの管理者(主に役場職員)への聞き取り調査を実施した。

例として、南牧村における事例を示す(図2-10)。南牧村では独自に気象観測施設を17か所設置しており、全ての地点で気温と降水量、7地点で湿度、風向風速、日照時間、日射量、2地点で積雪深を測定している。現地調査においては、湿度等を観測している7地点と、近接する川上村の観測施設を併せて対象とした(図2-10 (a))。各観測点に設置されている観測機器は高精度の観測が可能な機器であり、気象庁における観測と同等の品質のデータの入手が可能と推察された。但し、観測点によって周辺の観測条件が異なり、周辺に高い樹木や人口建造物等が殆ど無く観測データの地域代表性に優れていると判断される地点もあるが(図2-10 (b))、周辺に樹木や建造物が存在し、観測データがこれらの影響を受けている可能性が考えられる観測点も見られた(図2-10 (c))。しかしながら、これらの観測システムでは気象庁の観測システムでも観測点が少ない日射量や、AMeDASで観測されていない湿度の観測を実施しており、各観測点の立地条件の調査結果に配慮しつつ積極的に取り入れる価値があると判断された。

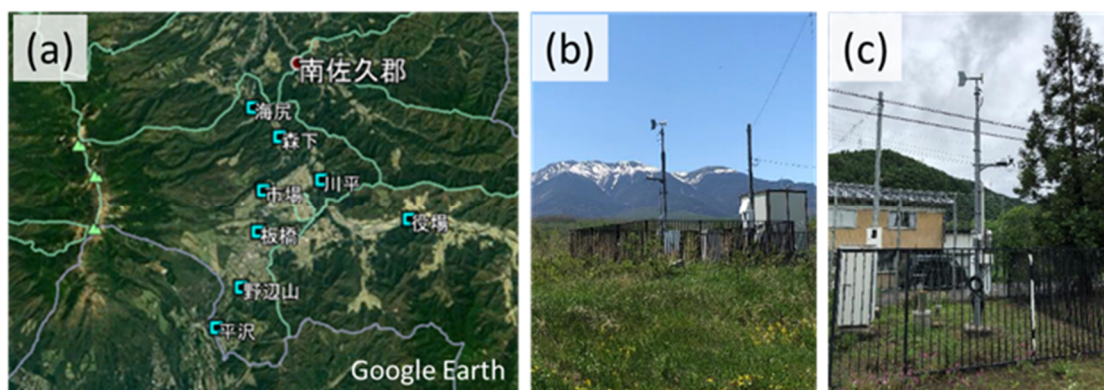


図2-10 自治体独自の気象観測システム（南牧村における例）  
 (a) 現地調査を行った観測点の位置、(b) 市場観測点、(c) 海尻観測点  
 (図(a)はGoogle Earth 画像を複製)

最後に、本サブ課題で収集、整備したデータの一覧を表に示す。国土交通省の特別データ、長野県の道路関連のデータについては未対応であり、データの精査と整備が今後の課題である。

表2-2 収集データ一覧

|       | 機関   | 種別          | 要素                                      | 時間    | 期間    | 地点数(長野県) | 地点数(全国)   | 入手 | 共通書式 |
|-------|------|-------------|-----------------------------------------|-------|-------|----------|-----------|----|------|
| 国     | 気象庁  | 官署          | 降水量、気温、日照時間、風向・風速、積雪深<br>気圧、湿度、水蒸気圧、日射量 | 日別    | 1873～ | 5        | 156       | ○  | △    |
|       |      |             |                                         | 時別    | 1990～ |          |           | ○  | ○    |
|       |      |             |                                         | 10分   | 1994～ |          |           | ○  | ○    |
|       |      |             |                                         | 1分    | 2008～ |          |           | ○  | △    |
|       |      |             |                                         | 10秒   | 2008～ |          |           | ○  | △    |
|       |      | アメダス        | 降水量、気温、日照時間、風向・風速、積雪深、湿度                | 日別    | 1977～ | 45(30)   | 1298(926) | ○  | ○    |
|       |      |             |                                         | 時別    | 1977～ |          |           | ○  | ○    |
|       |      |             |                                         | 10分   | 1994～ |          |           | ○  | ○    |
|       |      |             |                                         | 1分    | 2008～ |          |           | ○  | △    |
|       |      |             |                                         | 10秒   | 2015～ |          |           | ○  | △    |
|       | 区内観測 | 気温(日最高・最低)  | 日別                                      | ～1978 |       |          | ○         | △  |      |
| 国土交通省 | 水文観測 | 雨量、流量       | 日別                                      | ～2003 | 113   | 2800     | ○         | ○  |      |
|       |      | 雨量、水位・流量、水質 | 時別                                      |       |       |          |           | △  | ×    |
| 県     | 長野県  | 河川・砂防       | 雨量                                      | 日別    | ～2004 | 60       |           | ○  | ○    |
|       |      |             | 雨量、水位・流量                                | 時別    | 2005～ | 215      |           | ○  | ○    |
|       |      | 道路          | 降雪量、積雪深、気温、天気                           | 日別    | 2001～ | 47       |           | △  | ×    |
| 市町村   | 南牧村  |             | 降水量、気温、湿度、風向・風速、日射量、日照時間                | 10分   | 2000～ | 17       |           | △  | △    |
|       | 川上村  |             | 降水量、気温、湿度、風向・風速、日射量、日照時間                | 10分   | 2011～ | 8        |           | △  | ×    |
|       | 山形村  |             | 降水量、気温、湿度、風向・風速、日射量、日照時間                | 時別    | 1998～ | 4        |           | ○  | ×    |
|       | 箕輪町  |             | 降水量、気温、湿度、風向・風速、気圧、日射量                  | 時別    | 2012～ | 6        |           | ○  | ×    |
|       | 駒ヶ根市 |             | 降水量、気温、湿度、風向・風速、日射量、日照時間                | 時別    | 2010～ | 2        |           | △  | ×    |
|       | 松川町  |             | 降水量、気温、湿度、風向・風速、日射量、日照時間                | 時別    | 2014～ | 20       |           | △  | ×    |
|       | 豊丘村  |             | 降水量、気温、湿度、風向・風速、日射量、日照時間                | 時別    | 2013～ | 9        |           | △  | ×    |

## 5. 研究目標の達成状況

主に長野県内および周辺地域を対象として、気象庁を含む複数の機関による気象観測の実態を調査し、各機関による実測気象データおよび観測地点等に関するメタデータの収集整備を行った。メタデータは全国の観測点について収集し、位置情報に基づき地点移動履歴について明確化し、Google Earth上で地点をクリックすると観測項目や観測期間、データ取得（欠測）情報といった詳細な地点情報が表示されるようにした。気象庁、国土交通省、長野県建設部河川課・砂防課より収集した気象データについて、予め設定した共通フォーマットに変換し、さらに気象庁の統計指針に則り各種データを再集計し、運営母体の異なるデータの均質化を図った。観測地点情報も系統的に再構築し、観測開始、終了時期や欠測情報、周辺土地利用情報を統一的に整備したことで、空間的な範囲（自治体や流域等）や期間、品質等、様々な条件による観測地点検索も可能となり、目的に応じたデータがユーザーの利用しやすい形

式での提供が可能となったことから、本サブ課題の研究目標は達成されたと判断される。

## 6. 引用文献

- 1) 大和広明、栗林正俊、浜田崇（2017）信州・気候変動モニタリングネットワークの収集データを用いた短時間強雨の解析事例．長野県環境保全研究所研究報告, 13, 41-46.
- 2) 気象庁（2020）気象観測統計指針（令和2年版）
- 3) 村上 雅則，桑形 恒男，石郷岡 康史，西森 基貴（2011）農耕地モニタリング地点の選定とその気温変化傾向に関する地域的な特性．生物と気象, 11, 41-50.

## Ⅱ－３ 過去の異常気象情報の整理と気候変動地域マップの作成

長野県環境保全研究所

自然環境部 温暖化対策班

自然環境部 温暖化対策班

栗林 正俊

山田 恭平・浜田 崇・葉田野 希

### 【要旨】

本研究は、長野県で発生した異常気象と気象災害に関する情報整理、顕著な極端現象の事例に関する発生機構の解析、地域の気候変動の詳細な実態を表現した気候変動地域マップの作成、を目的とした。異常気象と気象災害については、観測データ解析と文献調査に基づいて1945～2020年の情報を整理し、各気象現象に関してサブテーマ4, 5, 6と共有した。また、気候変動に伴い激甚化や頻発化が懸念される豪雨と猛暑について顕著な事例を抽出したところ、2019年10月の令和元年東日本台風に伴う豪雨と2018年8月の猛暑が洗い出され、これらの事例を対象に地域気象モデルで再現計算と感度計算を実施して発生機構を解析した。この結果、東日本台風の豪雨事例では、山岳が長野県南部の降水現象を抑制したが、長野県北部の降水現象を助長したことが示された。このことは、それまでに長野県で言われていた「山岳に囲まれた長野県は台風の影響を受けにくい」という通説を覆し、台風のコースや強度によっては山岳があることで降水量が増加して災害リスクが高まることもあるということを示した。2018年8月の猛暑事例については、一般的によく知られた降水を伴うフェーン現象とは異なり、山岳の風下に発生した下降気流に乗って高温位の気塊が降りてくることで断熱的に加熱された気塊と、関東平野の地表付近を通過しながら地表面からの顕熱により非断熱的に加熱された気塊が、長野盆地で合流したことに加え、長野市のヒートアイランド現象も作用して、複合的な要因で発生していたことが明らかになった。気候変動地域マップは2通りの方法で作成し、1つは1980年以降の各年代について最も顕著な豪雨事例を抽出してサブテーマ2から提供された長野県の高密度気象データベースと数値モデルの再現計算結果に基づきマップ化する形で、もう1つは各気象要素について1981～2015年の35年間の経年的な変化率を数値モデルの再現計算結果に基づきマップ化する形とした。前者については、豪雨発生時に1度に降る降水量が近年になるほど増加している実態を視覚的に分かりやすく表現することができ、世の中で言われている気候変動に伴う豪雨の激甚化・頻発化は長野県においても例外ではないことを明示することができた。後者については、長野県とその周辺地域でほぼ一様に気温が上昇して、日本海や太平洋の沿岸域では雪が雨に変わり降雪量が減少して降雨量が増加する傾向にあるものの、長野県を含む内陸域においては降雪量や積雪深は減少しておらず、むしろ標高2000 mを超える山岳においては降雪量が増加して降雨量が減少する傾向にあることが示された。

### 1. 研究開発目的

近年、猛暑や豪雨といった異常気象やそれに伴う災害が頻発するようになり、気候変動に対する社会的な注目が高まっている。我が国は2018年12月に気候変動適応法を施行するとともに、2020年には「日本の気候変動2020」を公表するなど、地方自治体における適応策の推進を促している。この「日本の気候変動2020」では将来的に日本の平均気温の上昇が続くとともに、極端な高温の頻度の増加や雨の降り方の極端化を予測しており<sup>1)</sup>、今まで以上に気象災害の発生リスクが高まると考えられる。これらの気候予測や気候変動適応の法制化を受けて、地方自治体においても地域気候変動適応センターの設置や地域気候変動適応計画の策定など、適応策を推進する体制を整える県や市町村が増えてきている。しかし、具体的に地域の適応策を推進する上で、地域の実情に合わせた気候変動の影響やその予測に関する情報が必要になるが、影響評価や予測の基礎となる地域詳細化された気候変動の情報が不足している。特に、長野県とその周辺には、複雑地形に特徴づけられた多様な気候条件がひしめき合い、気温や降水量、積雪量の分布は県や市町村の中でも場所によって大きく異なる。また、猛暑や豪雨といった異常気象も局地性の高い現象であり、総観規模の環境場だけでなく地理的要因も影響していると考えられ、長野県周辺の山岳と異常気象の関係を解明することは、地域の自治体が気象災害に対する正確な危機意識を共有していく上で重要である。

以上の背景を踏まえて、本研究では、①過去に長野県で発生した異常気象と気象災害に関する情報



を整理すること、②顕著な事例に関しては数値モデルで再現計算と感度計算を実施して発生機構を解析すること、③地域の気候変動の詳細な実態を表現した気候変動地域マップを作成すること、を目的とする。

## 2. 研究目標

長野県内で過去に発生した災害や異常気象を整理して、気象現象毎に関連するサブテーマと情報を共有する。1980年以降の40年間については、気温、雨、雪の3項目に分けて数値モデルで過去の極端現象の再現実験や感度実験により発生機構を解析する。また、サブテーマ2から提供される高密度気象データベースと数値モデルの再現計算結果を併用して空間分布図として可視化し、年代別に経年変化が分かりやすい形にデザインしてサブテーマ1に提供するとともに、信州気候変動適応センターのホームページで行政担当者や県民に向けて分かりやすく情報を発信する。

## 3. 研究開発内容

### 3-1. 異常気象の情報整理

長野県で過去に発生した気象災害について、「長野県の災害と気象」<sup>2)</sup>に掲載された情報を災害タイプや発生地域、死者・行方不明者数、被害額などに応じて整理した。災害タイプのうち、豪雨については台風、梅雨前線豪雨、その他の豪雨、の3種類に分けた。対象期間は、気象災害による死者数や被害額の記録が残っている1945年から2020年までの期間とした。各年の被害額は2015年の物価水準に換算して計算した。猛暑については、「長野県の災害と気象」に災害タイプとして分類されていないため、気象庁が公開している長野地方気象台の気象観測値や消防庁が公開している熱中症緊急搬送者数のデータを解析して、異常気象の事例を抽出した。

### 3-2. 事例解析

異常気象として抽出された事例に関して、気象庁のアメダスや国土交通省の水文水質データベース、解析雨量などの気象観測値を収集して解析した。また、非静力学地域気象モデルWRF (Weather Research and Forecasting model)を用いた再現計算を実施し、観測値と比較・検証した。WRFの計算設定は表3.1、計算領域は図3.1に示したとおりで、2段ネストにより長野県周辺を3.3 km格子まで高解像度化した。計算は解析対象事例に関する再現計算(CTLラン)の他に、図3.1cのように長野県周辺の山岳を標高1 mにした山岳除去計算(NoMtラン)、長野盆地の最低標高を1000 mにした盆地除去計算(NoBsラン)、長野盆地の土地利用が都市である地点を周辺の山岳と同じ森林にした都市除去計算(NoUrラン)を行った。これらの感度計算と再現計算の差をとることにより、豪雨や猛暑の事例に寄与する山岳や盆地、都市の影響を定量的に評価した。

表3. 1 WRFの計算設定。

| 計算領域    | 1                                                   | 2     | 3      |
|---------|-----------------------------------------------------|-------|--------|
| 初期値・境界値 | NCEP Final Analysis (GFS-FNL)                       |       |        |
| 格子数     | 100 × 100                                           |       |        |
| 水平解像度   | 30 km                                               | 10 km | 3.3 km |
| 鉛直解像度   | 61 層 (η座標系)                                         |       |        |
| 時間ステップ  | 60秒                                                 |       |        |
| 微物理過程   | WSM <sup>a)</sup> 6-class graupel scheme            |       |        |
| 放射過程    | RRTMG <sup>b)</sup> both for longwave and shortwave |       |        |
| 接地層過程   | Monin-Obukhov (Janjic Eta) Similarity scheme        |       |        |
| 陸面過程    | Noah Land-Surface Model                             |       |        |
| 境界層過程   | Bougeault and Lacarrere PBL <sup>c)</sup>           |       |        |
| 積雲対流過程  | New Tiedtke scheme                                  | Off   |        |
| 都市キャノピー | Single Layer UCM <sup>d)</sup>                      |       |        |
| 土地利用    | 21-category IGBP-Modified MODIS                     |       |        |

a) WSM6: WRF Single Moment 6 class

b) RRTMG: Rapid Radiative Transfer Model - Global

c) PBL: Planetary Boundary Layer

d) Urban Canopy Model

### 3-3. 長期再現計算

長期再現計算は前述の事例解析と異なり計算量が膨大なため、既存の計算結果を利用する。この長期再現計算は、気象庁55年長期再解析データを気象庁気象研究所の非静力学地域気象モデルNHRCM(Non-Hydrostatic Regional Climate Model)の初期値・境界値に用いて、1980年から2015年までの36年間分を実施されたものである。主な計算設定は表3.2、計算領域は図3.2に示したとおりで、詳細はKawase et al. (2018)<sup>3)</sup>に記載されている。この計算は、1年毎に前年7月末から8月末までの約1年1ヵ月間を連続積分している。このように期間を夏で区切りながら計算するのは、1回の計算で36年分を連続積分すると計算量が膨大で非常に時間がかかることと、積雪を正確に計算するためには中部山岳域でもほぼ積雪がなくなる夏を区切りをする必要があるからである。本研究では、5 km格子で計算した領域2のうち、長野県周辺地域を囲む領域について詳細な解析を行った(図3.2)。

この長期再現計算を用いて気候変動地域マップを作成する際には、2通りの方法を用いた。1つは1980年以降の各年代で最も甚大な被害が発生した豪雨事例について、サブテーマ2から提供された高密度気象観測データベースと再現計算結果を併用して空間分布図を作成し、各年代の豪雨事例の比較がしやすい形にデザインした。もう1つは、各気象要素の年間値についてモデル格子毎に経年的な変化率を計算し、変化率の空間分布図としてデザインした。気温については各観測点や各モデル格子で単回帰分析して得られる回帰係数に100をかけた値(単位: °C/100年)として計算した。一方、降水量や積雪深など降水現象に関係する気象要素については、各モデル格子で単回帰分析して得られる回帰係数(単位: mm/年やcm/年)を年変化量として計算するだけでなく、これを同格子における解析対象期間の平均値で割り、100をかけた年変化率(単位: %/年)も計算した。これは、降水量や積雪深は気温に比べて空間的な偏りが大きいためである。

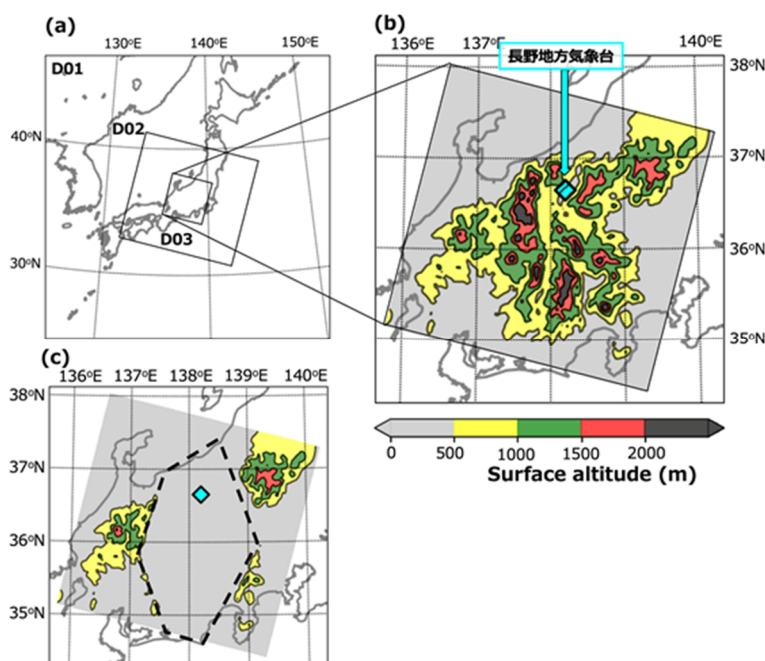


図3.1 (a) WRFの計算領域、(b) 再現計算(CTLラン)の領域3の地形、(c) 山岳除去計算(NoMtラン)の地形。

表3.2 NHRCMの計算設定。

| 計算領域    | 1                                                  | 2       |
|---------|----------------------------------------------------|---------|
| 初期値・境界値 | 気象庁55年長期再解析値(JRA55)                                |         |
| 格子数     | 211×175                                            | 321×301 |
| 水平解像度   | 20 km                                              | 5 km    |
| 鉛直解像度   | 40層                                                | 50層     |
| 微物理過程   | Bulk-type cloud microphysics                       |         |
| 放射過程    | Clear-sky radiation scheme, Cloud radiation scheme |         |
| 接地層過程   | Beljaars and Holtslag (1991)                       |         |
| 陸面過程    | Improved MRI/JMA Simple Biosphere (iSiB)           |         |
| 境界層過程   | Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino Level 3              |         |
| 積雲対流過程  | Kain-Fritsch convective parameterization scheme    |         |
| 都市モデル   | Square Prism Urban Canopy scheme (SPUC)            |         |
| 土地利用    | GLCC <sup>a)</sup> , (都市のみ国土数値情報)                  |         |

a) GLCC: Global Land Cover Characterization

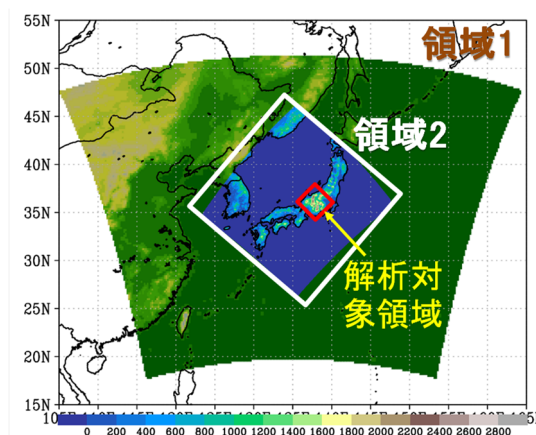


図3.2 NHRCMの計算領域と解析領域。

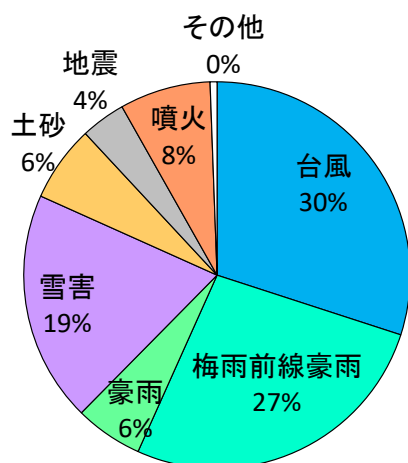


図3. 3 長野県における1945～2020年の気象災害による死者・行方不明者の内訳

#### 4. 結果及び考察

##### 4-1. 長野県の過去の気象災害と異常気象

長野県における1945～2020年の気象災害による死者・行方不明者数の内訳では、1位が台風で30%、2位が梅雨前線豪雨で27%、3位が雪害で19%を占める(図3.3)。個別の事象で最も大きな死者・行方不明者を出したのは、1961年6月23日から7月1日の期間に発生した梅雨前線豪雨で、136名の方が犠牲になった(図3.4)。この2年前の1959年には、台風第7号で71名、伊勢湾台風で27名が犠牲になっている。一方、近年は2014年の御嶽山噴火(死者・行方不明者数63名)を除いて、死者・行方不明者数が20名を超えるような気象災害は発生していない。2019年に令和元年東日本台風が襲来して長野市で千曲川が氾濫した時でさえ死者・行方不明者数は5名で、治水工事などハード面の対策に加えて天気予報や防災情報の配信などソフト面の対策も進歩したことが効果を挙げていると考えられる。ただし、住宅や農林業などへの被害額という観点では、2019年の令和元年東日本台風を筆頭に、1983年の台風第10号、1982

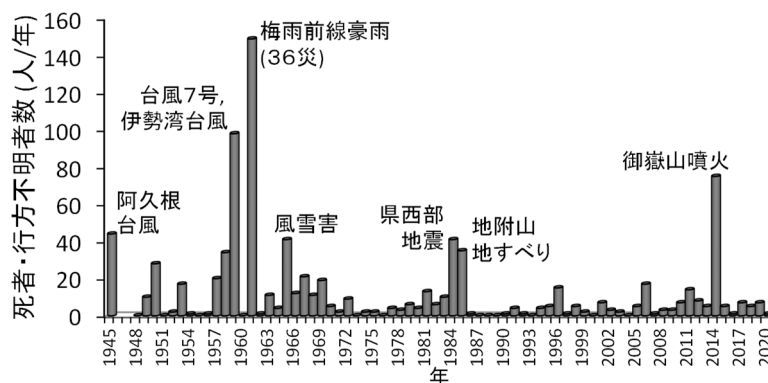


図3. 4 長野県における1945～2020年の気象災害による死者・行方不明者数の推移。

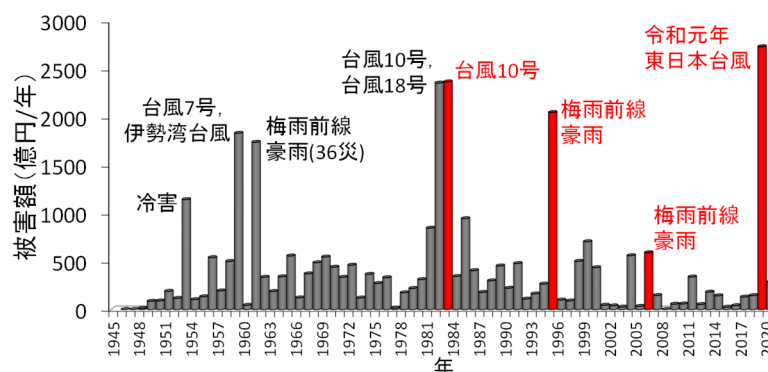


図3. 5 長野県における気象災害による被害額の推移。

(2015年の物価水準に換算し、10億円以上の災害を集計)

赤い棒は1980年以降の各年代で最も被害の大きい事例として観測とモデルで空間分布を可視化。

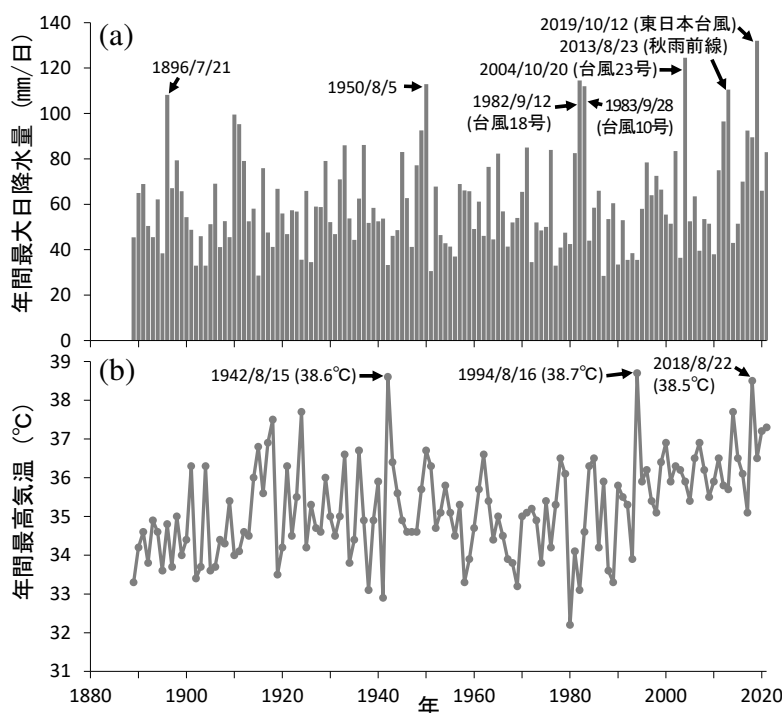


図3. 6 長野地方気象台における1889～2021年の(a)年間最大日降水量、(b)年間最高気温の経年変化。

年の台風第10号と第18号など、過去から現在に至るまで台風が甚大な被害をもたらしている(図3.5)。また、1995年と1961年の梅雨前線豪雨による被害額も突出しており、暖候期に発生する広域的な豪雨は寒候期に発生する風雪害よりも被害の規模が大きいといえる。

長野地方気象台における1889年から2021年の年間最大日降水量の経年変化によると、130年以上の観測の中で日降水量が100 mm/日を超えた日は僅か7日しかないが、このうち5回は1980年以降に発生した(図3.6a)。また、2004年の台風第23号の事例では124.5 mm/日、2019年の東日本台風の事例では132.0 mm/日を記録しており、近年は豪雨の頻度が高まっているだけでなく、強度も強まっている。1980年以降に日降水量100 mm/日以上を記録した5事例のうち4事例は9、10月に襲来した台風によるもので、残る1事例は秋雨前線によるものだった。これらの観測事実は、気温の上昇に伴い大気中の水蒸気量が増加していることや、海面温度の上昇に伴い台風が強い勢力を維持したまま日本付近まで北上していること、と関連があると思われる、豪雨災害の潜在的なリスクは気候変動により確実に高まっていると考えられる。長野地方気象台における年間最高気温の経年変化に着目すると、年平均気温の経年変化のように有意な上昇トレンドが見られるわけではない(図3.6b)。しかし、1980年以降に着目すると、急激に上昇している。また、全国的に記録的な冷夏となった1993年以来、年間最高気温は毎年35℃を超えていて、気候変動により夏季のベースの気温が上昇したことで冷夏の頻度は減少していると考えられる。年間最高気温が最も高かったのは1994年8月16日の38.7℃、2番目は1942年8月15日の38.6℃、3番目は2018年8月22日の38.5℃で、この3事例が突出している(図3.6b)。それぞれ年代は異なるが全て8月中旬から下旬に発生していた。このような異常な猛暑は、気候変動のような長期的な現象だけでなく、エルニーニョやインド洋ダイポールモードのような惑星規模の数年周期の現象に加えて、フェーンのようなメソスケールの現象など、様々な時空間スケールの現象が重なることで生じると考えられる。また、消防庁が公開している2008年から2020年の長野県の熱中症緊急搬送者数のデータを解析した結果、例年は搬送者数が800人前後であるのに対して、2018年だけは1400人を超える搬送者数が記録されていた。2007年以前の記録はないが、猛暑の年に熱中症緊急搬送者数は増えると思われる、豪雨災害と同様に猛暑による熱中症リスクも気候変動により高まっていると考えられる。

#### 4-2. 異常気象の事例解析

長野県で発生した異常気象として、2019年10月の令和元年東日本台風による豪雨事例、および2018年8月の猛暑事例を取り上げ、WRFによる再現計算と各感度計算に基づいて発生機構の解析を行った。令和元年東日本台風による豪雨事例では、2019年10月12日に長野県内で豪雨が発生していることから、WRFの計算開始日時はスピナップを考慮して10月8日0時(UTC)とした。10月11日0時(UTC)～13日0時(UTC)の48時間積算降水量について、解析雨量とCTLランの計算結果を比較すると、CTLランによる降水量の空間分布は解析雨量とよく整合していた(図3.7a-b)<sup>4)</sup>。例えば、長野県の南東側で48時間積算降水量が500 mmを超える雨域が見られることや、東北地方の太平洋側の沿岸域で比較的降水量が多いことなどの特徴が解析雨量とCTLランでよく一致している。一方、NoMtランの計算結果では、長野県の南東側の山岳域における強雨域は縮小しているのに対して、東北地方の太平洋側の沿岸域に広がる雨域はCTLランの計算結果とほぼ同じであった(図3.7b-c)。このことは、台風が東日本に接近してきた際に、台風の北側を回り込む暖かく湿った強い南東風が赤石山脈をはじめとする長野県の南東側の山岳にぶつかり、この地域に地形性の強い雨をもたらしたことを示唆している(図3.7e)。また、東北地方の太平洋側の沿岸域にもたらされた雨は、地形性降水ではなく別の要因でもたらされたと考えられる。CTLランとNoMtランの差分に着目すると、長野県周辺では飛騨山脈や赤石山脈より東側では山岳を除去したことにより降水量が減少している地域が多く、西側では山岳を除去することで降水量が増加している地域が多いことが分かる(図3.7d)。すなわち、飛騨山脈や赤石山脈は、その東側の地域で地形性降水を助長し、西側の地域の降水を抑制したことで、結果的に図3.7dに示した長野県北部の降水量を増やし、長野県南部の降水量を減らしたと考えられる<sup>4)</sup>。4-1節では令和元年東日本台風による豪雨で千曲川が氾濫し、住宅や農林業へ甚大な被害をもたらしたことを示したが、この千曲川の上流域はまさに図3.7dに示した長野県



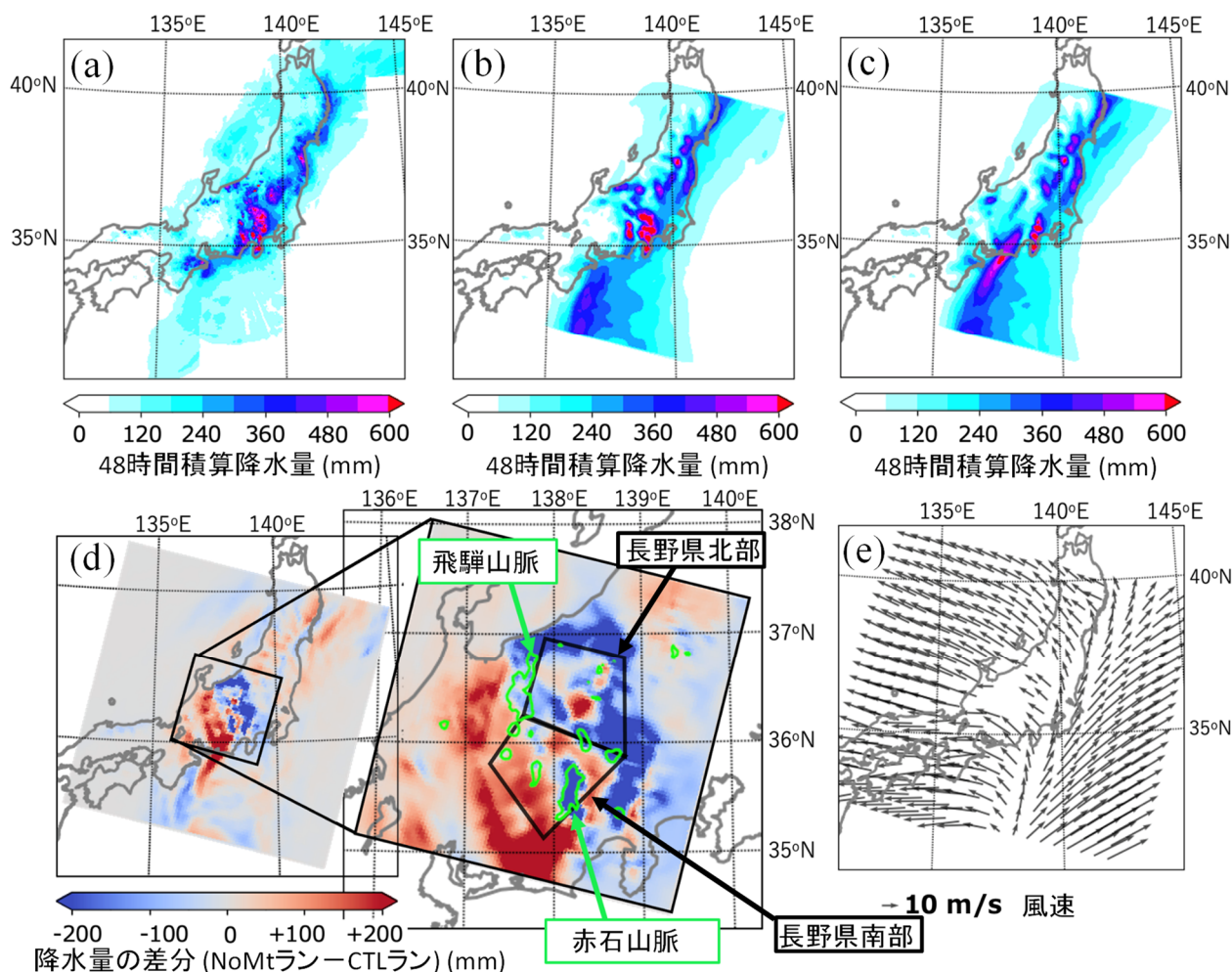


図3. 7 (a)解析雨量、(b)CTLラン、(c)NoMtラン、による2019年10月11日0時(UTC)～13日0時(UTC)の48時間積算降水量の空間分布。(d)NoMtランからCTLランを引いた48時間積算降水量の差分。緑線は標高1800 mの等高線。(e)CTLランの850hPa面の水平風の空間分布。

北部の東側に合致し、上流域における地形性降水が河川流量を急激に増加させて長野市における破堤を誘発させたと考えられる。一方、図3.7dに示した長野県南部は、木曽川と天竜川の上流域となっており、山岳がこの地域を豪雨から守る役割を果たしたと考えられる。

2018年8月の猛暑事例では、2018年8月22日に日最高気温38.5℃を記録していること、および、猛暑となる4日前の8月18日早朝に長野地方気象台で日最低気温13.4℃という8月としては記録的な低温を観測し、5日間で急激な気温上昇が起こったことで多くの熱中症患者が出たこと、の2点を考慮し、スピナップも含めWRFの計算開始日時は8月12日0時(UTC)とした。8月17日から22日までの日最高気温の空間分布について、気象庁の観測値とCTLランの計算結果を比較すると、気象庁の観測が行われていない山岳域を除いて、CTLランによる日最高気温の分布は観測値とよく整合していた(図3.8a-f)。長野地方気象台がある長野市周辺ではこの期間の気温変化が他の地域に比べてより大きく、長野地方気象台の日最高気温観測値は5日間で14.7℃上昇した(図3.8g)。長野地方気象台と甲府地方気象台の気温1時間値について、観測値とCTLランの計算結果を比較すると、CTLランは気温の日内変化や経日変化をよく再現しており、日最高気温はCTLランと観測値が非常によく整合していた(図3.8g-h)。次に、CTLランと各感度計算(NoMtラン、NoBsラン、NoUrラン)の差分をとり、山岳効果・盆地効果・都市効果を評価した結果、山岳と都市は猛暑を助長していたことが示された(図3.9)。山岳は、8月22日の日最高気温を中部山岳域全体として高めており、長野市周辺では日最高気温を約4℃高めていた(図3.9a, d)。バックトラジェクトリ一解析の結果、8月22日に長野市に記録的猛暑をもたらした高温気塊は2種類のルートで長野盆地に侵入



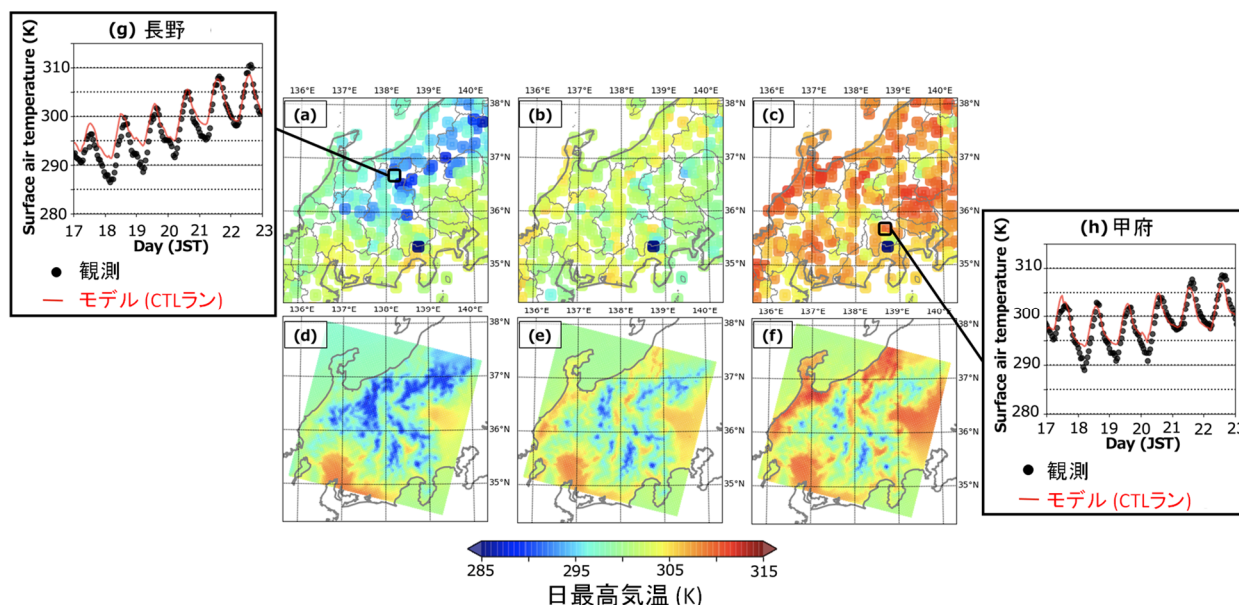


図3. 8 (a)2018年8月17日, (b)8月20日, (c)8月22日、の日最高気温観測値。  
 (d)2018年8月17日, (e)8月20日, (f)8月22日、の日最高気温計算値(CTLラン)。  
 (g)長野地方気象台, (h)甲府地方気象台、の気温1時間値に関する観測とモデルの比較。

しており、それぞれ異なるメカニズムが合わさって高温をもたらしていたことが示された。2種類のルートの中の1つは、もともと駿河湾上空2000 m付近にあり、この気塊が甲府盆地を北に進み、八ヶ岳周辺の山岳を超える際に発生した下降気流により長野盆地まで降りてきたことで、断熱的に加熱されたドライフェーン(降水を伴わないフェーン現象の一種)であると解析された。もう1つは、もともと相模湾上空の地表面付近にあった気塊が関東平野の西部を北に進みながら、地表面からの顕熱による非断熱加熱を受けて高温になり、これが群馬県から碓氷峠を超えて長野県に侵入した際にドライフェーンの気塊と出会う長野盆地まで到達したものと解析された。山岳は、山岳波や山谷風などを発生させる原因であり、気塊の鉛直方向の移流に重要な役割を果たすため、猛暑の発生に寄与すると考えられる。一方、盆地の効果は、むしろ日最高気温を1℃程度下げる方向に作用していた(図3.9b, d)。これは、盆地が山岳に囲まれているため、日射が当たりにくくなることを反映していると考えられる。都市は、長野市程度の規模であっても8月22日の日最高気温を約1℃高めていた(図3.9c, d)。都市のヒートアイランドの効果は、日中の最高気温よりも夜間の最低気温を高めるのにより強く作用することが知られているが<sup>5)</sup>、8月22日の日最高気温においては都市の寄与がなければ38℃を超える記録的猛暑にはなっていなかったと考えら

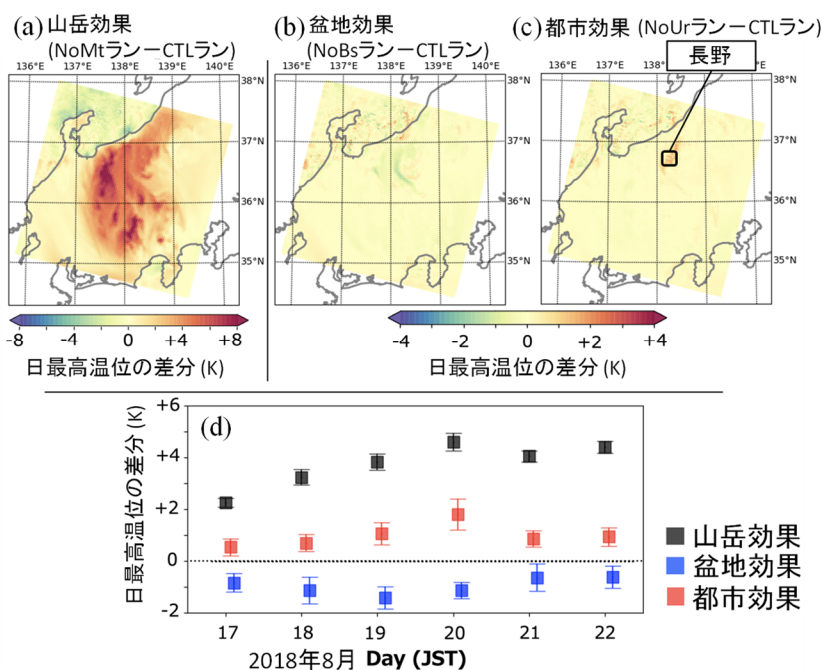


図3. 9 8月22日の日最高気温への(a)山岳, (b)盆地, (c)都市、の効果の空間分布。(d)8月17～22日の日最高気温への山岳・盆地・都市の各効果の時間変化。

れる。このことは、将来的に懸念される猛暑のリスクを軽減する上で、屋上緑化や保水性舗装などの暑熱緩和策が気候変動の適応策になりうることを示唆している。

#### 4-3. 気候変動地域マップ

長野県において1980年以降の各年代で最も被害額の大きい気象災害の事例として、1980年代は1983年9月の台風第10号による豪雨、1990年代は1995年7月の梅雨前線豪雨、2000年代は2006年7月の梅雨前線

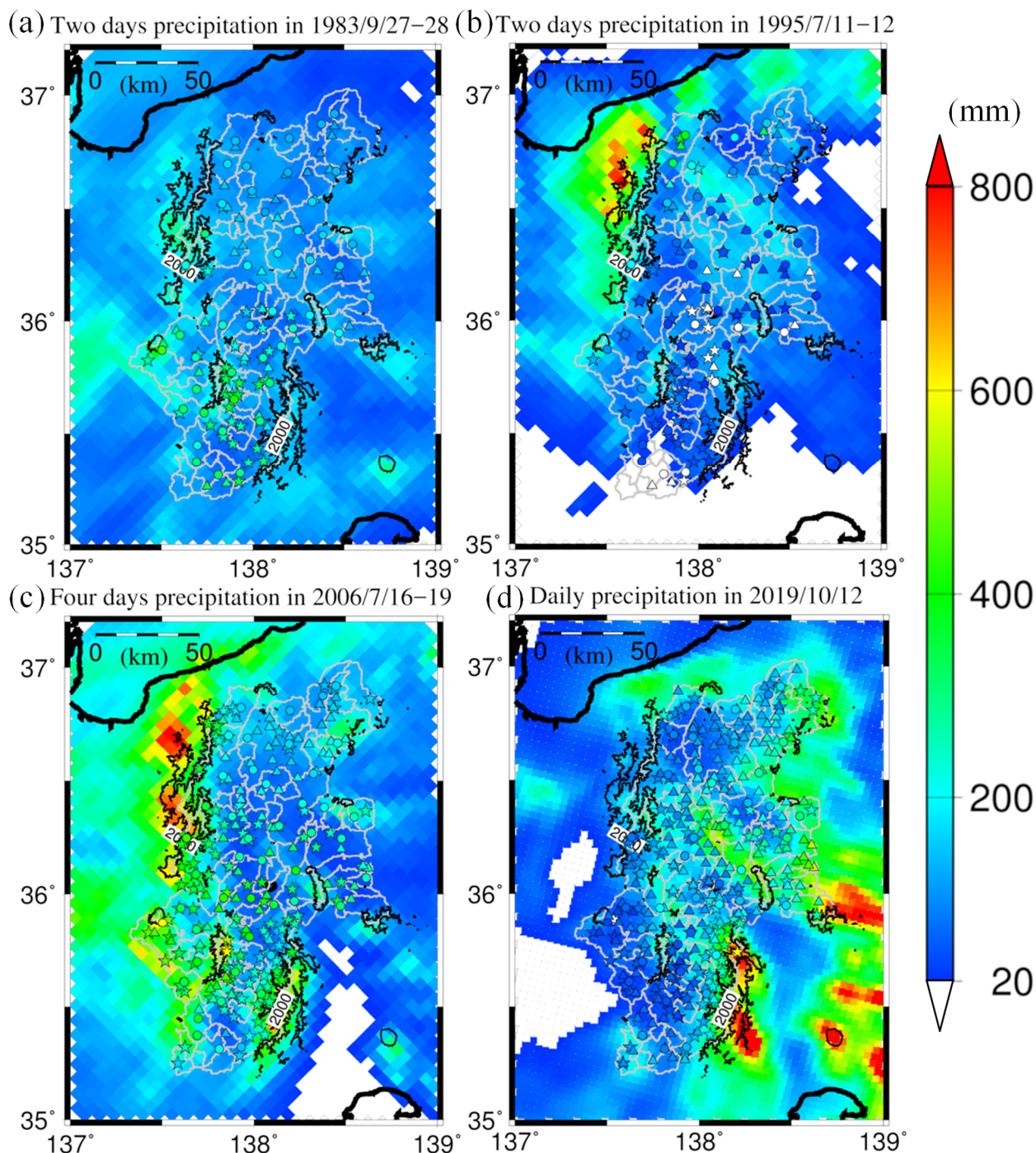


図3-10 長野県周辺における(a)1983年9月27-28日の2日間降水量、(b)1995年7月11-12日の2日間降水量、(c)2006年7月16-19日の4日間降水量、(d)2019年10月12日の日降水量、の空間分布。背景色はモデルの再現計算値((a),(b),(c)はNHRCM、(d)はWRF)。丸印は気象庁の雨量計、三角印は長野県の雨量計、星印は水文水質データベースの雨量計、による観測値。灰色線は長野県の市町村境界。細い黒線は標高2000 mの等高線。太い黒線は湖岸・海岸線。



豪雨、2010年代は2019年10月の東日本台風による豪雨を抽出し(図3.5)、サブテーマ2から提供された高密度気象データベースとNHRCMやWRFによる再現計算結果を併用して気候変動地域マップを作成した(図3.10)。各マップを見比べると年代が古い事例ほど観測地点数が少ないが、モデルがうまく補完して豪雨時の降水量の分布を詳細に表現できた。また、観測とモデルの整合性という点で、部分的にモデルが過大評価ないし過小評価している地点はあるものの、全体的な降水量の空間分布はよく整合しており、マップの精度は高いと考えられる。台風による豪雨と梅雨前線豪雨では降水量の分布の特徴が異なり、台風による豪雨の場合は南から雨雲が流れ込むので北部よりも南部で相対的に降水量が多い分布となり(図3.10a, d)、梅雨前線豪雨の場合は西から雨雲が流れ込むので東部よりも西部で相対的に降水量が多い分布となっている(図3.10b, c)。特に、長野県西部には3000 m級の山岳が連なる飛騨山脈があり、4-2節では東日本台風による豪雨の際に飛騨山脈が長野県北部の豪雨を助長したことを示したが、梅雨前線豪雨の場合に飛騨山脈の西側で降水量が多く、むしろ飛騨山脈が長野県内に雨雲が流れ込むのを抑制していると考えられる。また、台風による豪雨は一気に大量の雨が降る傾向があるのに対し、梅雨前線豪雨の場合は強い雨が数日間降り続く傾向があるという雨の降り方の違いも重要な特徴である。2006年7月の梅雨前線豪雨は4日間降り続いて記録的な総降水量となったのに対し、2019年10月の東日本台風の豪雨では同程度の降水量が1日で降った(図3.10c, d)。さらに、各年代を代表する豪雨事例を比較してみると、総降水量は近年になるに従い増加しており、温暖化にともなう大気中の水蒸気量の増加が豪雨の強度を高めている可能性がある。

NHRCMの長期再現計算に基づく1981～2015年の年平均気温の変化率は、長野県周辺ではほぼ一様に1.5～3.0 (°C/100年)の範囲にあり、標高依存性はあまり見られなかった(図3.11a)。NHRCMによる1981～2015年の年平均気温を気象庁の各観測点と比較すると、長野や松本では1.0～1.5°C過大評価し、飯田では0.5～1.0°C過小評価するが、経年変化の傾向はよく整合していた(図3.11b-d)。1981～2015年の経年的変化率としては、観測値は3.0～4.0 (°C/100年)でNHRCMに比べると気温の上昇率が大きかった。

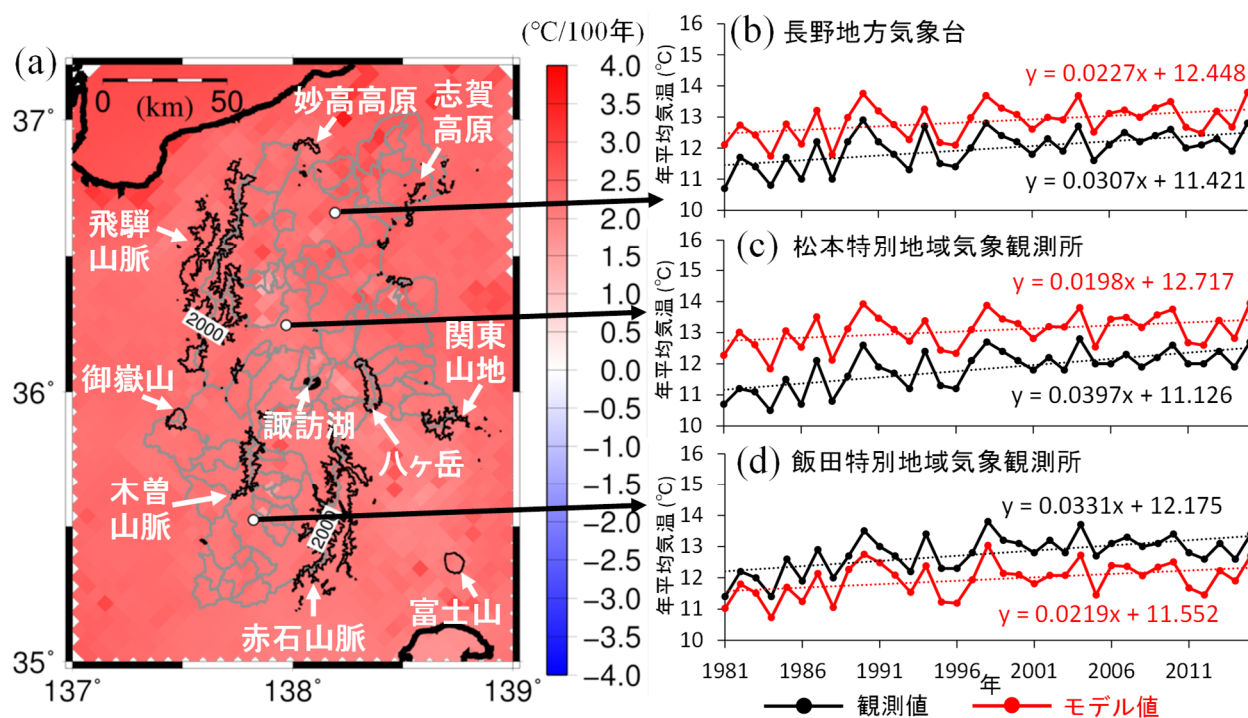


図3.11 (a)モデル(NHRCM)により再現された長野県周辺における1981～2015年の年平均気温の変化率の空間分布。灰色線は長野県の市町村境界。細い黒線は標高2000 mの等高線。太い黒線は湖岸・海岸線。(b)長野地方気象台、(c)松本特別地域気象観測所、(d)飯田特別地域気象観測所における1981～2015年の年平均気温の経年変化。細い点線は回帰直線。

NHRCMの変化率が観測に比べて小さい理由として、NHRCMの土地利用データは1981～2015年を通して都市を除きGLCCのデータを用い、都市のみ国土数値情報のデータを用いているが(表3.2)、期間を通して同じ値にしているため、都市化に伴う影響が考慮されていないことが考えられる。NHRCMの長期再現計算に基づく1981～2015年の年降水量(降雨と降雪の合計)の年変化率は、標高の高い地点の方が低い地点に比べてやや小さい傾向が見られた(図3.12b)。水平分布に着目すると、全体的に年降水量の年変化率が0～0.5(%/年)の地域が広がっているが、関東山地の北側や八ヶ岳の周辺に0以下の地域も見られる(図3.12a)。また、飛騨山脈や赤石山脈といった標高2000 m超えの山岳が連なる地域でも、周辺の盆地に比べて年変化率がやや小さい。長野県内の気象庁の観測値を解析した先行研究によると、御嶽山のアメダス(標高2195 m)の6月の降水量が1979～2015年の間に有意水準5%で有意に減少し、かつ、6月の降水量と標高の間には弱い負の相関が見られることが示されており<sup>6)</sup>、NHRCMの計算結果と類似した傾向が見られる。NHRCMによる降水量を液体降水(降雨)と固体降水(降雪)に分けて解析した結果、降雨量に関しては、より顕著に標高の高い地点の方が低い地点に比べて年変化率が小さい傾向が現れた(図3.13a-b)。水平分布に着目すると、全体的に年降雨量の年変化率が0～0.5(%/年)の地域が広がっているが、飛騨山脈、木曽山脈、赤石山脈、八ヶ岳では0以下であった(図3.13a)。年降雨量の年変化率と標高の間には負の相関関係があるが、標高

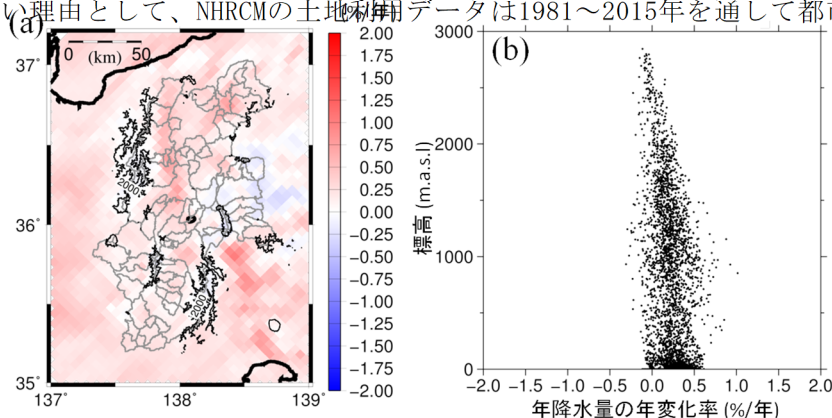


図3.12 (a)モデル(NHRCM)により再現された長野県周辺における1981～2015年の年降水量の年変化率の空間分布。灰色線は長野県の市町村境界。細い黒線は標高2000 mの等高線。太い黒線は湖岸・海岸線。(b)年降水量の年変化率と標高の関係。

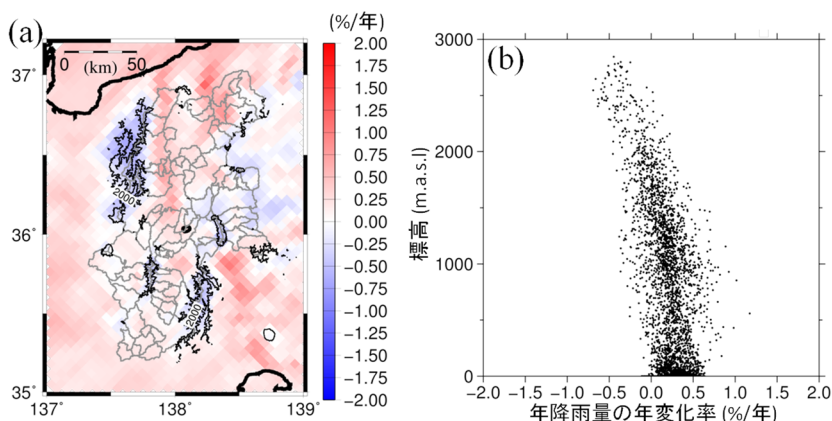


図3.13 (a)モデル(NHRCM)により再現された長野県周辺における1981～2015年の年降雨量の年変化率の空間分布。灰色線は長野県の市町村境界。細い黒線は標高2000 mの等高線。太い黒線は湖岸・海岸線。(b)年降雨量の年変化率と標高の関係。

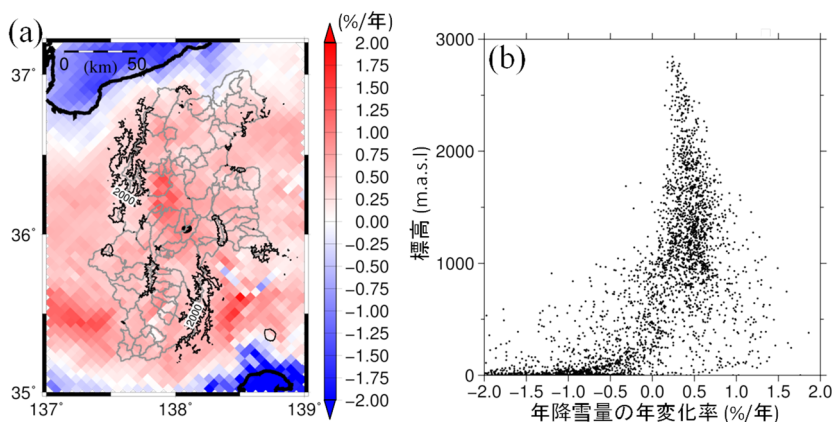


図3.14 (a)モデル(NHRCM)により再現された長野県周辺における1981～2015年の年降雪量の年変化率の空間分布。灰色線は長野県の市町村境界。細い黒線は標高2000 mの等高線。太い黒線は湖岸・海岸線。(b)年降雪量の年変化率と標高の関係。

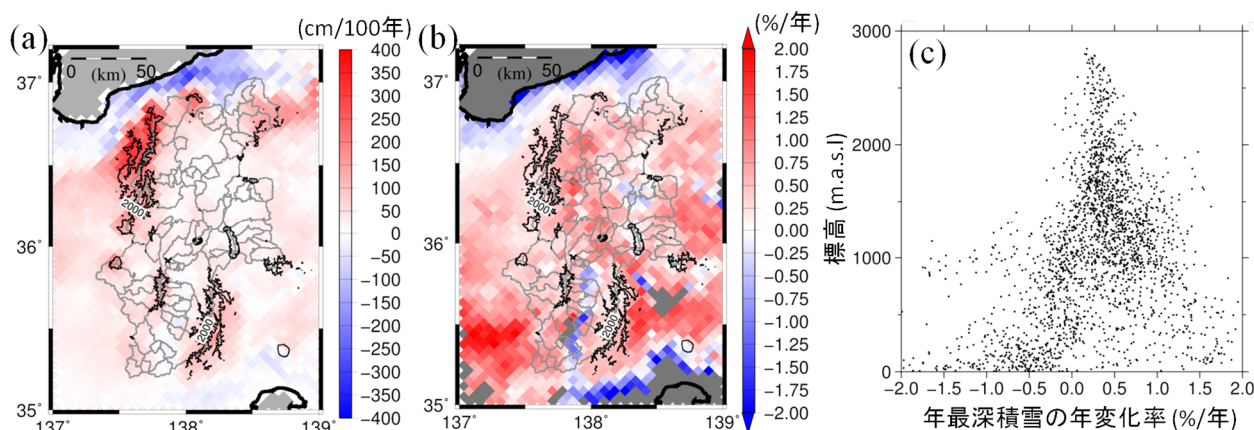


図3.15 モデル(NHRCM)により再現された長野県周辺における1981～2015年の年最深積雪の(a)100年あたりの変化量、(b)年変化率、の空間分布。海上や年最深積雪10 cm未満の格子は灰色塗りつぶし。灰色線は長野県の市町村境界。細い黒線は標高2000 mの等高線。太い黒線は湖岸・海岸線。(c)年最深積雪の年変化率と標高の関係。

2000 m以上の地域では、標高が上がるほどより急激に降雨量の年変化率が減少している(図3.13b)。一方、年降雪量の年変化率は、日本海沿岸や太平洋沿岸の低地で低く内陸域で高い傾向が見られる(図3.14a)。これは、内陸域では1981～2015年の間に年降雪量が増加傾向にあるのに対して、沿岸域では減少傾向にあることを示唆している。年降雪量の年変化率と標高の関係に着目すると、標高1000 m以上の地域では概ね正であるが、標高1000 m以下の地域ではばらつきが大きいものの比較的に負の地域が多いことが明らかになった(図3.14b)。このばらつきは、内陸の盆地と沿岸域の特徴の違いを反映していると考えられる。NHRCMによる年最深積雪の年変化率は、年降雪量と類似した傾向を示し、日本海沿岸や太平洋沿岸の低地では負の値であるのに対し、内陸域では正の値の地域が広がっている(図3.15b)。ただし、木曽山脈と赤石山脈の間の伊那盆地は年降雪量の年変化率が正の値であるのに対し、年最深積雪の年変化率は負の値であるなど、局地的には年降雪量と年最深積雪の変化率で傾向が異なる地域もある(図3.14a, 3.15b)。年最深積雪の多い日本海側の地域では、年最深積雪の100年あたりの変化量が飛騨山脈、妙高高原、志賀高原といった山岳よりも北側の日本海に面した平野部で負の値、南側の内陸部で正の値となり対照的な傾向を示した(図3.15a)。特に、これらの山岳域では年最深積雪が中部山岳域の中でも際立って増加傾向にあるが、豪雪地帯であるため年変化率としては0.2～0.5 (%/年)程度である(図3.15b)。年最深積雪は、標高1000 m以上の地域では増加傾向にあるが、標高1000 m以下の地域ではばらつきが大きい(図3.15c)。これらのことから、1981～2015年の間の気候変動で気温が上昇した結果、日本海や太平洋の沿岸域では雪が雨に変わり、年最深積雪や年降雪量が減少し、年降雨量が増加したと考えられる。一方、標高が高く冬季の気温が0℃よりも十分に低い内陸域では、気温が1、2℃上昇しても冬季の雪が雨に変わることはなかったと考えられる。むしろ、飛騨山脈などの山岳域における積雪の増加は、日本海の水海面温度の上昇に伴い大気へ供給される水蒸気量が増加し、冬季の季節風により山岳域にもたらされる雲水量が増加した結果の可能性もある。山岳域における積雪量の増加に関して、月別の解析を行った結果、12月の気温が低下傾向で、降水量が増加傾向のため、山岳域を中心に降雪と積雪が増加傾向になっていることが明らかになった。この12月の気温と降水量の変化傾向の特徴は、Yasunaga and Tomochika (2017)が観測に基づいて示した結果とも整合していた<sup>7)</sup>。一方、2月は顕著に気温が上昇傾向で、降水量は日本海側で減少傾向、太平洋側で増加傾向となっていた。このため、降雪量は赤石山脈周辺を除いて減少傾向だった。赤石山脈は標高が高く非常に寒冷なため、2月の気温が上昇しても雪が雨に変わらず、むしろ太平洋側での降水量の増加により降雪量が増加したと考えられる。



## 5. 研究目標の達成状況

本研究は、目標を上回る成果をあげた。理由として、まず長野県内で過去に発生した災害や異常気象の情報を2020年まで整理し、土砂災害に関する情報はサブテーマ4、凍霜害に関する情報はサブテーマ5、猛暑に関する情報はサブテーマ6とそれぞれ共有したことで、各サブテーマの研究推進を支援した。次に、極端な被害を出した豪雨事例や多くの熱中症患者を出した猛暑事例について、地域気象モデルを用いた再現計算と感度計算により発生機構を解析し、豪雨については長野県特有の複雑な地形が降水現象を助長したり抑制したりすること、猛暑についてはフェーン現象や都市のヒートアイランドが複合的に作用して起こることを明らかにした。特に、長野県で過去最大の被害額を記録した2019年10月の東日本台風に伴う豪雨事例に関しては、それまでに長野県で言われていた「山岳に囲まれた長野県は台風の影響を受けにくい」という通説を根底から覆すもので、2021年7月に国際学術誌に論文が公開された際には7件の取材を受けるなど、社会的に大きな注目を集めるとともに気候変動下での防災意識の向上に貢献したことは、従来の研究目標を上回る成果である。次に、1980年以降の極端な豪雨事例については、サブテーマ2から提供された高密度気象データベースと地域気象モデルの再現計算結果を併用して気候変動地域マップとして可視化し、サブテーマ1に提供するとともに行政担当者や県民にも情報を発信した。豪雨事例に関する気候変動地域マップでは、長野県においても年を追うごとに豪雨の強度が強まっている実態を視覚的に分かりやすく表現することができ、長野県が所有する高密度な気象観測網と数値モデルを融合させた先進的な研究成果と考えている。さらに、1981～2015年の年平均気温、年降水量(雨+雪)、年降雨量、年降雪量、年最大積雪深についても、経年的な変化率を気候変動地域マップとして可視化したことで、各気象要素の経年変化率に関する空間分布の特徴や標高依存性を明らかにすることができた。特に、標高依存性については、標高2000 mを超える山岳に囲まれた長野県ならではの研究成果を得ることができ、目標を上回る成果である。

## 6. 参考文献

- 1) 文部科学省、気象庁：日本の気候変動2020 一大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書ー(2020)
- 2) 長野県：長野県の災害と気象  
<https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/kurashi/shobo/saigai/kisho.html> (2022年3月確認)
- 3) H. KAWASE, T. SASAI, T. YAMAZAKI, R. ITO, K. DAIRAKU, S. SUGIMOTO, H. SASAKI, A. MURATA, and M. NOSAKA: J. Meteor. Soc. Japan, Vol.96, Issue 2, (2018) (IF:2.2), Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments.
- 4) K. Yamada, and M. Kuribayashi: SOLA, Vol. 17A, 45-50, (2021) (IF:2.2), Topographic effect on heavy rainfall caused by Typhoon Hagibis (2019) in Nagano, Japan.
- 5) T. R. Oke: Boundary Layer Climates. (1987), New York, Routledge.
- 6) 栗林正俊、大和広明、浜田崇：地学雑誌、128巻1号、21-30 (2019) 長野県における1979～2015年の夏季降水量の経年変化の標高依存性.
- 7) K. Yasunaga, and M. Tomochika: J. of Hydrometeorology, Vol. 18, 2893-2906, (2017) (IF:4.3), An increasing trend in the early-winter precipitation during recent decades along the coastal area of the Sea of Japan.

## Ⅱ サブテーマ4 改良版の土砂災害警戒情報作成

国立大学法人 福島大学  
共生システム理工学類

川越 清樹

### 〔要旨〕

豪雨に対する土砂災害発生リスクモデルを融雪も対象にできるように改良開発して、土砂災害を誘発するマルチな気象事象のリスクを導出できるモデルを構築させた。また、マルチな気象事象に対応できるリスク値を統合化すること、現状も被災リスクの伴う危険地域である土砂災害警戒区域の情報を基に土砂災害リスクのデータベースを開発した。なお、この成果を、この開発されたデータベースの情報を、モデル市町村と共有し、土砂災害の適応策に利用できる情報へ改良加工して、この情報およびツールのプロトタイプをクラウド上で公開できるものにした。データベースの図化事例として3次元化した情報にリスク値を示し、利用事例としてUAVを用いた緻密情報との重複によるモニタリング案も示した。

### 1. 研究開発目的

特に2010年以降に日本各地で認められる観測記録史上最大降雨量の更新や、インフラの設計基準値を超過する豪雨により、戦後以降に沈静化した災害の激甚化が認められている。また、気候モデルに基づき推計される予測によれば、現状だけにとどまらず、将来、気候変動に伴う降水の極端化も見積もられており、更に災害の激甚化が増加する可能性を有している。気象、地形、地質等の特徴より自然災害の多い日本列島では、従来から過去の最大規模の経験値、および経験に基づいた統計値を基準に防災に対するインフラ整備の取り組みが講じられてきた。気候変動の適応策の推進により、先進の科学技術より取得される気候変動予測値も考慮した極大事象に対しての実践的な防災計画も展開されていくと推測され、将来に危惧される極大事象に対して安全を担保できる社会環境を構築させる活動が促進される。しかしながら、現況のインフラの設計基準を一律で迅速、かつ大幅に改変させることは予算や生活基盤の制約等の課題を多く含むため困難である。そのため、リスク情報の迅速化、精緻化かつ伝達の円滑化による被災回避、保全重要度に応じた効率的な対策投資決定論の高度化、補填的な減災機能の開発等を駆使した対応も並行して取り組まなければならない。駆使すべくオプションの中で挙げられたリスク情報による被災回避の取り組みは、データ、ツール、システム等の情報取得・発信を通じて著しい進化を遂げ、今後のSociety 5.0によるICT, IoT, AI等の技術革新や導入により、更なる発展が見込まれる<sup>2)</sup>。ただし、情報のツールやシステムは、防災活動を誘導、実行する行政、住民も主体に運用、利用されていくことに留意しなければならない。情報取得・発信から防災活動に至る中間処理の段階で先進の科学技術が最適に判断しても、ブラックボックスを含むツールやシステムが行政、住民に順応できるとは限らない。順応を促進するため、行政、住民に馴染み深い過去より蓄積されてきた経験、現行のリスク情報、および将来予測のリスク情報を時系列で可視化させて認知度を高めるアプローチも進めて、双方を補完した活用、もしくは併用が望まれる。可視化可能な時系列のリスク推移を示す情報は防災計画を立案する上でも有効であり、空間情報も併せて整備すれば、保全重要度に応じた効率的な対策投資の検討にも活用可能である。そのため、地方自治体の行政機関の適応策の実践化、住民の防災行動誘導等への効用も期待できる。以上の背景をふまえて、一般にも認知できる災害リスクの情報化に取り組んだ。

日本列島を対象にすれば、列島の2/3は山地に相当する。なおかつ、この山地は大陸プレート収束に伴う造山活動に由来して形成されたものである。そもそもが、脆弱な地質を成すため、豪雨が生ずれば容易に斜面崩壊する恐れのある特性を有する。また、斜面崩壊に伴う土砂災害は、初期挙動が可視化しにくい、重力加速度が大きい等の要素も含むため、人的被害が生じやすい<sup>3)</sup>。そのため、リアルタイムの変動性を捉えるだけでなく、危機的状況以前の予めの危険領域を抽出するアプローチの防災対策が重

点化されている。土砂災害では、1999年の6月広島豪雨を契機に、土砂災害警戒区域等における土砂災害災害防止対策の推進に関する法律(以降、土砂災害防止法と記載)が施行されており、ハード対策のほかにソフト対策も重視された経緯をもつ。土砂災害防止法では、土砂災害のおそれのある区域(土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域 以下 土砂災害警戒区域と総称)が明示され、危険の周知、警戒避難態勢の整備、住宅等の新規立地の抑制、既存住宅移転の促進が定められた。2020年3月までの報告によれば、平成31年度(令和元年度)に土砂災害警戒区域の基礎調査が完了予定であり、報告時には約66万区域が区域指定されている<sup>4)</sup>。これらの区域については、国、および県、市町村の自治体機関が一体となって対策を講じるとともに、住民の理解を進める防災体制の強化を図ることが求められている。しかし、指定区域も相当数であるため、一律の対応が困難な課題を持つ。防災体制を整備する上で、過去・現在から将来の区域に応じたリスクの定量化、気候変動に応じたリスクの増加量、および地域特徴も見据えてリスク推移の可視化できる情報は、各自治体が効率的な災害軽減の対策投資を検討にも活用できる。なお、公表されている土砂災害警戒区域の基礎調査マニュアル案<sup>5)</sup>を参考にすると、地形、地質、過去の災害実績、対策施設、保全対象を区域の危害発生の程度の評価がなされ、これらの情報を調書に集約している。調書は、区域指定評価の用途を主とするが、リスク推移に応じた適切な対策対応を誘導するためのアーカイブ情報としての機能を果たすことも期待される。しかし、基礎調査を精査すると、現地調査に基づく災害の要因の観察結果は緻密に多く記載されている一方で、気候変動に伴い状態変化しうる降水に関連した情報に乏しい。区域の調書に該当する既往最大、もしくは将来展望の降水量や、降水発生時のリスク情報も記載すれば、より円滑に対策実施に活用可能なアーカイブ情報になりえる。例えば、過去と将来のリスクの推移を検証することで、ハード対策の実施可能性、既存住宅移転等のソフト対策等の実践を具体的に検討でき、気候変動に対する適応策としての用途も補えると考えられる。以上の背景をふまえて、気候変動による土砂災害警戒区域のリスクの情報化に取り組んだ。

なお気候変動による災害の課題を捉えた場合、極端な豪雨に着眼したアプローチのリスク導出が進められる。その一方で、豪雨だけが土砂災害を誘発する気象条件ではない。国土の半分以上の地域が豪雪地帯に指定されている我が国にとって、雪崩や凍霜害など雪氷、および融雪も災害を誘発する気象事象である。本研究の対象領域である長野県では、ほぼ毎年のように融雪に関連した災害は発生し、2017年に関しては、融雪災害による被害額が29億円となり、その年の山地災害の被害額の7割超を占めている。このことより、融雪災害による被害額も少なくないことから、将来に対して防災対策を行うことは重要といえる。積雪に関する気候変動の予測では、気象庁、環境省が気候モデルを参考にすれば、RCP8.5において豪雪地帯に属する東日本・日本海側は、現在比で最大-146cmの大幅な降雪量減少になる結果を示している<sup>6)</sup>。一方でKawaseらは、図12に示すように、中部山岳地域における将来の降雪を評価した結果、北アルプスでは、12月後半から2月前半にかけての降雪量が現在よりも多くなる年がある一方、冬の降雪量が現在より少なくなる可能性が示した<sup>7)</sup>。このことから、気候変動により、北アルプスの冬の降雪量は現在より極端化すると予想される。しかし、雪は社会活動や交通支障へ負への影響を及ぼす反面、発電や農業の振興を図るための水資源の役割、レジャー産業や地域固有の文化形成への効果も担い正への影響も多大である。したがって、気候変動に伴う積雪変化、および自然、社会環境の影響を見積もるための精度の高いデータセットを整備していく用途は大きい。したがって、豪雨だけでなく融雪も含めた土砂災害リスク情報が必要とされている。

以上の研究開発の背景を考慮し、一般にも認知のできる気候変動に伴う豪雨、融雪による土砂災害警戒区域のリスク情報の整備に取り組むことが、本研究の目的となる。

## 2. 研究目標

豪雨に対する土砂災害発生リスクモデルを融雪も対象にできるモデルへと改良し、土砂災害を誘発する気象状況のリスクを統合化して評価することで、土砂災害警戒区域毎のリスクのデータベースを開発する。また、この開発されたデータベースの情報を、モデル市町村と共有し、土砂災害の適応策に利用できる情報へ改良し、この情報およびツールのプロトタイプをクラウド上で公開する。

## 3. 研究開発内容

本研究開発の内容は以下の①～④に示すとおりである。

- ① 気候変動による融雪状態を考慮して、気温上昇に伴う融雪、および融雪時に生じる降雨も含めたRoS(Rain on Snow)による気象条件を求めた。また、この気象条件を気候モデル(モデル名称：NorESM, MRI-CGCM, MIROC5, IPSL, Hadgem-ao, GISS-E2, CCSM, BCC-CSM1の計8モデル)にあてはめて、現在、近未来(2050年期：2031-2050年)、将来(2100年期：2081-2100年)の換算降水量を求めた。(気候モデルによる融雪データ整備)
- ② 融雪期の換算量を用いることで融雪を対象とできる土砂災害リスクモデルを開発し、長野県における土砂災害警戒区域の土砂災害発生リスクを導出した。(土砂災害リスクマップの開発)
- ③ 融雪と豪雨を対象とした土砂災害リスクを統合化し、土砂災害警戒区域ごとのリスクのデータベースを開発した。(豪雨と融雪の統合化リスクの導出)
- ④ 開発された土砂災害リスクのデータベースを用いた図化事例、および利活用例を示した。(データベース活用事例)

以上の①～④の補足を3.1～3.4に示す。

### 3.1 気候モデルの融雪(RoS)データ整備(項目①)

積雪地域では融雪期になると、季節的に増加する日射や気温などによって急速に融雪が進行する。今後、気候変動に伴い気温が上昇することでさらに融雪が加速することが予想される。融雪がこれら日周期に依存する降水量のほかに、降雨がある場合、雨量そのものが比較的少なくても、同時に著しい融雪を伴うことがあるため、両者を合わせた斜面への水の浸透量はより多くなり、地すべり等の融雪災害を引き起こす。こうした積雪下で発生する降雨はRoS (Rain-on-snow)と呼ばれ、比較的少ない雨量であっても土砂災害や融雪洪水を引き起こすことがあるため、ヨーロッパや北米で古くから関心がもたれてきた<sup>8)</sup>。日本においても融雪期の降雨は珍しくなく、RoSを考慮した降雨特性の研究が取り組まれている<sup>9)</sup>。このことから、降水量の推定にあたっては、暖候期の豪雨評価モデルでは直接的な降雨の物理量を用いて降水量とした一方で、融雪モデル評価は降雨と融雪をあわせたRoSを考慮する必要がある。

融雪量推定には積雪深や降水量、気温のデータが欠かせない。しかし、山岳地においてはこれらの観測データが少なく、積雪深の観測はほとんどない。融雪量の推定に関する手法はいくつかあり、例えば、梶山らは、新積雪と気象要素の観測データに基づき、新積雪密度と気象要素の関係から検討した<sup>10)</sup>。観測に基づいた研究として、阿部らは、等価積雪密度の推定を10年にわたり連続観測を行っている<sup>11)</sup>。長野県における積雪の観測データに関して、松下らは、長野県および新潟県内の6地域9地点において1か月に1度、全層の積雪断面観測を行い、得られた最大積雪質量(kg/m<sup>2</sup>)と最大積雪深(m)の関係を諸気象条件データと比較して重回帰式で示し、積雪密度を積雪深と気温を用いて推定している<sup>12)</sup>。浜田らは、長野県北部の飯綱山周辺における標高600m~1600mの地域において積雪密度の観測を行い、季節ごとの傾向の変化について示した<sup>13)</sup>。

本研究では、宮田らの融雪モデルを用いてRoSの推定を行った<sup>14)</sup>。積雪モデルは融雪量を推定する融雪モデルを組み込む必要があるが、融雪モデルは、熱収支法とDegree-day法の2つに分けられる。熱収



支法は融雪に寄与するエネルギーを成分ごとに求め、積雪層と大気の熱交換をモデル化した手法である。エネルギー交換の原理に基づいて融雪量を推定できるが、多種多様な観測データを空間的に高密度で必要とするため、広域に適用することは難しい。これに対し、Degree-day法は積雪期間の日融雪量が日平均気温と線形関係にあると仮定する手法である。気温のみで融雪量を推定するシンプルな方法であり、AMeDASデータを用いた広域にわたる積雪量の推定に適している。

使用データは長野県および周辺県のAMeDAS観測所24地点(長野県：信濃町・飯山・野沢温泉・長野・菅平・白馬・大町・松本・開田高原・諏訪・飯田・軽井沢)、(新潟県：能生・関山・高田・安塚・津南・湯沢・十日町)、(富山県：富山)、(岐阜県：高山)、(山梨県：甲府)、(群馬県：草津・前橋)における降水量の合計値(mm)、日平均気温(℃)、最新積雪(cm)、長野県の融雪に伴う災害履歴情報を用いて換算降水量RoSの推定を行った(いずれも1980-2019年、3月)。図4.1に使用したAMeDAS観測所および長野県の融雪に伴う災害履歴情報を示す。図4.2は、月平均気温と月降水量の関係の解析結果のイメージ図である。イメージ図では、長野県の北信地域を用いているが、これを解析対象となる24地点において結果を求めた。

以上の過程を解析し、日の換算降水量と月当たりの気温と降水量の関係を求めて、月の気温と降水量の状態で生じる最大日換算降水量条件を導出することとした。解析式を以下の式(1)~(5)に示す。

$$\Sigma SWE = SWE_{-1} + SF - SM$$

$$SM = SWE_{-1} + SF - SWE \text{ ----- (5)}$$

$$SWE = SD \cdot (\rho d - \beta \cdot (0.55 - \rho d_{-1})) \text{ ----- (6)}$$

$$SD = SD_{-1} - (0.284 \cdot R / \rho d_{-1}) \cdot (SD_{-1} / 10) + (R / \rho s) \text{ ----- (7)}$$

$$\rho d = (SWE / SD) + \beta(0.55 - \rho d_{-1}) \text{ ----- (8)}$$

$$SF = (R \cdot \rho s) / \rho w \text{ ----- (9)}$$

ここで、SF：降雪水量(mm)、 $\rho d$ ：全層積雪密度(g/cm<sup>3</sup>)、SD：積雪深(mm)、 $\beta$ ：圧密速度(0.0005[T<1.0], 0.0005・T[T≥1.0])、T：日平均気温、 $\rho s$ ：降雪密度(0.04[T<-2.0], 0.0667+0.0133T[-2.0≤T<1.0], 0.08[T≥1.0])、 $\rho w$ ：水の密度である。

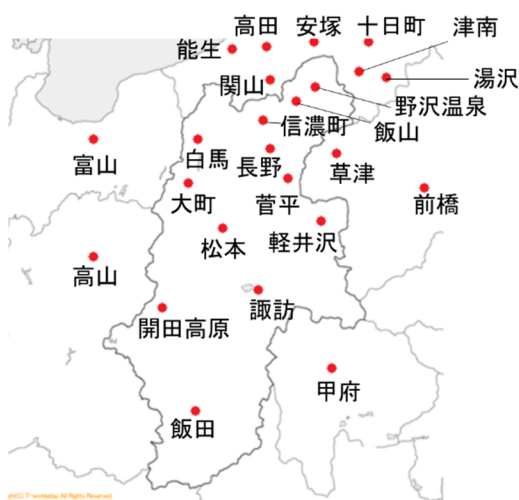


図4.1 検証観測ポイント分布図

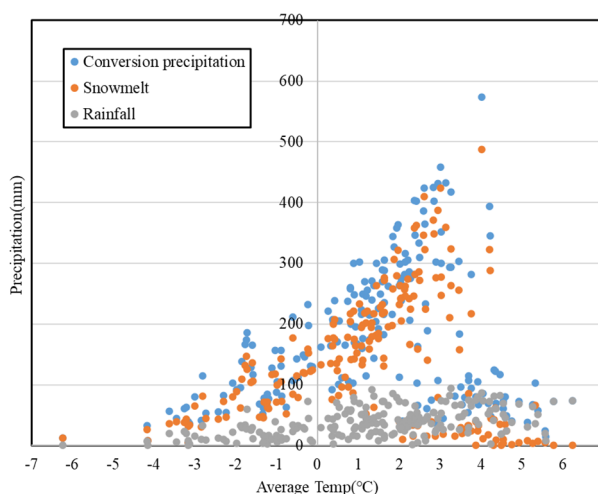


図4.2 月平均気温と月降水量の関係の解析結果のイメージ

月の気温と降水量の状態が生じる最大日換算降水量条件を導出することとし、気候モデルの示す月の気温と降水量で将来に生じうる最大日換算降水量を推計できる関係式を求めた。気候シナリオは RCP2.6 と RCP8.5、計算期間は現在気候、近未来を想定した 2050 年期とその将来気候である 2100 年期に設定した。本研究では、2050 年期は近未来気候として、2100 年期は将来気候として扱う。以上より 4 パターン(2050 年期 RCP2.6, 2050 年期 RCP8.5, 2100 年期 RCP2.6, 2100 年期 RCP8.5)で最大日換算降水量を設定することとした。なお、モデルごとに特徴や条件等が異なるため、使用した月降水量、月平均気温データの計 8 モデルのアンサンブル平均値を求められている。

### 3.2 土砂災害リスクマップの開発(項目②)

項目①より求められた気候シナリオ、時期に応じたアンサンブル平均の最大日換算降水量条件を導出し土砂災害リスクモデルへ適用した。研究で用いる土砂災害リスクモデルは、多重ロジスティック回帰分析より開発された発生確率モデルをベースにする。多重ロジスティック回帰分析は Truett らによって開発された心疾患のリスク算定のために開発された分析方法である<sup>15)</sup>。複数の説明変数を用いて目的変数に与える影響を予測する式を作り、1と0（本研究では、斜面崩壊発生/非発生）の2項分布による発生確率を求める。Ohlmacher らは多重ロジスティック回帰分析を用いて、地形・地質データから土砂災害評価モデルを構築した<sup>16)</sup>。このモデルは確率で危険度が示すことができ、定量的な評価を可能にした。ただし、このモデルは、降水量などの斜面崩壊を誘発する要因が含まれていない静的環境を対象にしたものである。ここまでの開発を気候変動などの動的環境も含めたモデルにするため、分担者は、発生確率モデルの説明変数に水文量として降水量を加え、日本列島全域の斜面リスクを評価できるモデルへ拡張開発した<sup>17)</sup>。モデル初期開発では、地質が限定的になる課題もあり、その後、空間情報の細解像度化とともに地質項目の細分化が図られた<sup>18)</sup>。この改良開発により、小起伏山地および中起伏山地において発生確率の強弱が明瞭となり、人家・資産の集中する領域の危険度評価の向上も図られた。なお、本研究ではこのモデルを利用し、土砂災害警戒区域にゾーニングすることで、土砂災害警戒区域における土砂災害リスクを求めている。また、この結果を空間図化することで、土砂災害リスクマップを開発している。

以下の式(1)～(4)に斜面崩壊発生確率モデル式の導出過程を示す。

$$P = \frac{\exp(A)}{1 + \exp(A)} = \frac{1}{1 + \exp(-A)} \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで、 $P$ ：発生確率、 $A$ ： $n$ 個の説明変数を足した合成成分で式(2)と表される。

$$A = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_nx_n \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで、 $a$ ：切片、 $b$ ：係数、 $x$ ：説明変数である。式(2)をロジット変換することで、式(3)が導かれる。また、本研究で用いる重回帰式の説明変数として用いる動水勾配と起伏量を  $x_{hydro}$ 、 $x_{relief}$  と表す。

$$\log\left(\frac{P}{1-P}\right) = a + \beta_h x_{hydro} + \beta_r x_{relief} \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

ここで、 $\beta_r$ ：起伏量の係数、 $\beta_h$ ：動水勾配の係数である．(3)式を $P$ について式変形すると、式(4)が導かれる．

$$P = \frac{1}{1+\exp[-(a+\beta_h x_{hydro}+\beta_r x_{relief})]} \cdot \cdot \cdot (4)$$

表4.1には地質に応じたパラメータを示す．本研究では、このモデルを融雪現象も含める改良開発を行っている．以上の式を用いて発生確率による土砂災害警戒区域のリスク情報を求めた．

表4.1 土砂災害発生確率モデルの地質項目と各パラメーター一覧

| 評価地質項目   | 起伏量 $\beta_r$ | 動水勾配 $\beta_h$ | 切片 $\beta_o$ |
|----------|---------------|----------------|--------------|
| 崖錘堆積物    | 0.08          | 1.52           | -8.58        |
| 安山岩      | 0.09          | 0.81           | -12.94       |
| 花崗岩      | 0.08          | 1.00           | -10.85       |
| 砂 岩      | 0.08          | 1.33           | -11.21       |
| 泥岩(互層含む) | 0.02          | 0.73           | -4.08        |
| 礫岩(互層含む) | 0.11          | 1.52           | -13.74       |
| 凝灰岩      | 0.06          | 1.26           | -8.21        |

### 3.3 豪雨と融雪の統合化リスクの導出(項目③)

融雪と豪雨による土砂災害リスク解析を統合させることで、マルチな気候要素を考慮した土砂災害警戒区域のリスク情報を導出するとともに、全気候・全天候型の気候変動適応策の検討を行った．過去・現在・将来予測に至る広範囲の土砂災害警戒区域のリスク値を斜面崩壊発生確率モデルにより定量化することで、時空間のデータベースが整備できる．データベース化に伴い、現行稼働している防災情報のツールやシステムへの補間活用、併用を可能にし、現在・将来に選択すべき対策を円滑に誘導させるアーカイブ情報も整備することができる．このアーカイブ情報の利用により、地方自治体の行政機関の適応策の実践化、住民の防災行動誘導も円滑にする運用も期待できる．ただし、実際の運用方法に関しては、地方自治体、地域のニーズと予算に依存するものの、円滑な利活用を考慮して事例提示が必要となる．

### 3.4 データベース活用事例(項目④)

項目の①～④の解析結果を数値地理情報化することでデータベースが完成される．データベース化に伴い、現行稼働している防災情報のツールやシステムへの補間活用、併用を可能にし、現在・将来に選択すべき対策を円滑に誘導させるアーカイブ情報も整備することができる．利活用については多岐にわたるため、活用事例も明示する必要がある．以上より、データベースの図化事例として3次元化した情報にリスク値を示し、利用事例としてUAVを用いた緻密情報との重複によるモニタリング案も示した．

## 4. 結果及び考察

以下の4.1～4.4に各結果を示し、4.5にまとめと考察を示す。

### 4.1 気候モデルの融雪(RoS)データ整備(項目①)の結果

図4.3の事例に示す(事例：長野市)積雪密度、気温、降水量を基にした換算日降水量を対象となる各アメダス観測所で求め、月換算データとして整備した。月換算データとして整理した結果が図4.4となる。図4は、月単位で日平均気温1℃から4℃の範囲でRoSによる影響が大きくなることを示している。1℃より小さい場合は以下の場合には積雪の影響が大きくなるために地表面で貯留されており地下浸透する降水が少ないこと、4℃より大きい場合は降水が降雨として捉えられ積雪貯留の影響がなくなり換算降水量も少なくなることを示している。したがって、RoSの影響が関与してリスクが高まるのは1℃から4℃の範囲と解釈される。また、同図には融雪による土砂災害時のデータも示されているが、いずれも1℃から4℃の範囲で、換算降水量の多い時に土砂災害が発生していることを示している。また、過去の長野県内における土砂災害発生実績時の気象状況を加えると、250～400mmに換算降水量が到達すれば災害発生する頻度が高まる結果を得た。

月の降水量と日換算降水量(最大、および99パーセンタイル)の関係を分析した結果が図4.5である。この結果には災害発生した当時の月の降水量と日換算降水量も記載する。結果として、概ね線形で月の降水量と日換算降水量の関係が示されることが、概ね最大値と99パーセンタイル値に近似する日換算降水量で災害が生じたことを得た。また、以下の条件がRoSにより融雪に伴う土砂災害が生じやすい条件になることを明らかにした。

・月平均気温1～4℃の範囲

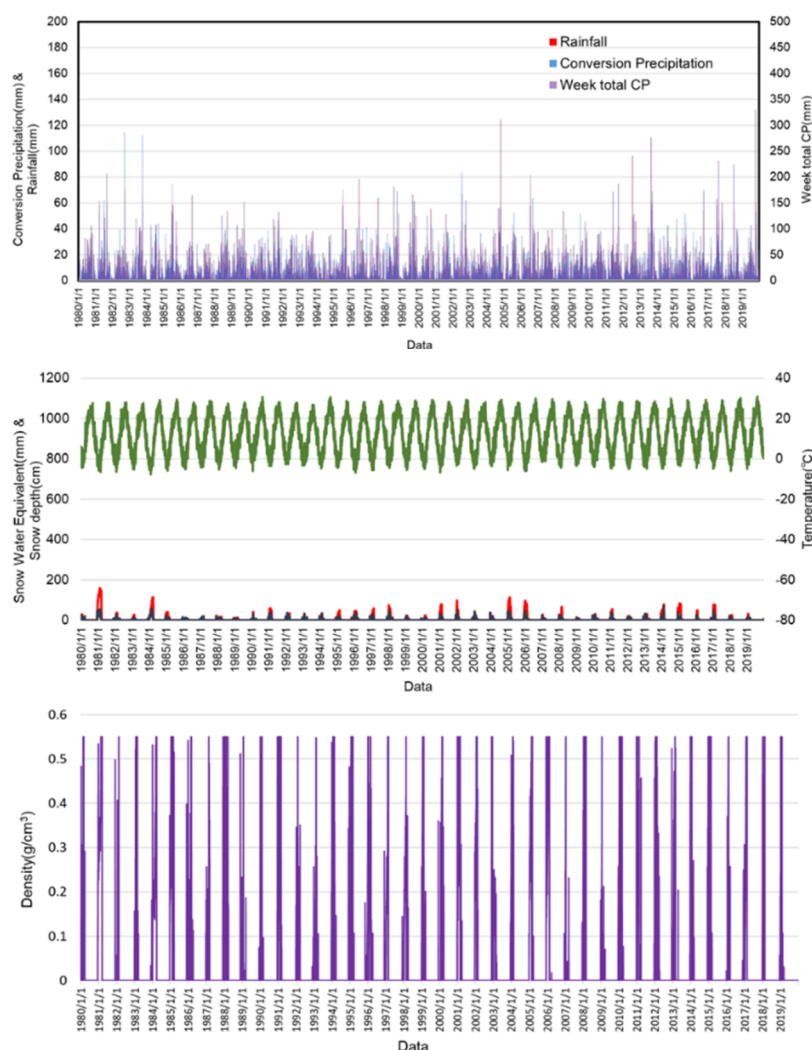


図4.3 積雪密度、気温、降水量を基にした換算日降水量  
(事例：長野市)



- ・実績によれば250～400mmに換算降水量が到達すれば災害発生する頻度が高まる
- ・過去の日換算降水量99パーセンタイル値以上

更に線型的な月の降水量と日換算降水量の関係により、おおよそ月の降水量が同定できれば日換算降水量も推計できることが明らかにした。本研究では、気候モデルにおける月平均気温1～4℃の範囲に最大値の日換算と月降水量の関係性を当てはめて、RoSの影響を求めた。この結果を土砂災害リスクモデルに当てはめて近未来、将来のリスクを求めた。図4.6にマルチアンサンブル平均値の日換算降水量解析結果、図4.7に月平均気温1～4℃の範囲の結果を示す。図4.6に示される通り、RCPシナリオ、年における日換算降水量の空間分布に大きな差はなく、総じて長野県内では、南部側で日換算降水量が大きくなる傾向を示している。ただし、図4.7に示される月平均気温1～4℃の範囲は概ね標高の高い位置に遷移していることが示される。この結果は、人的な影響も踏まえて設定されている土砂災害警戒区域の融雪におけるリスクが低下することを示唆するものである。

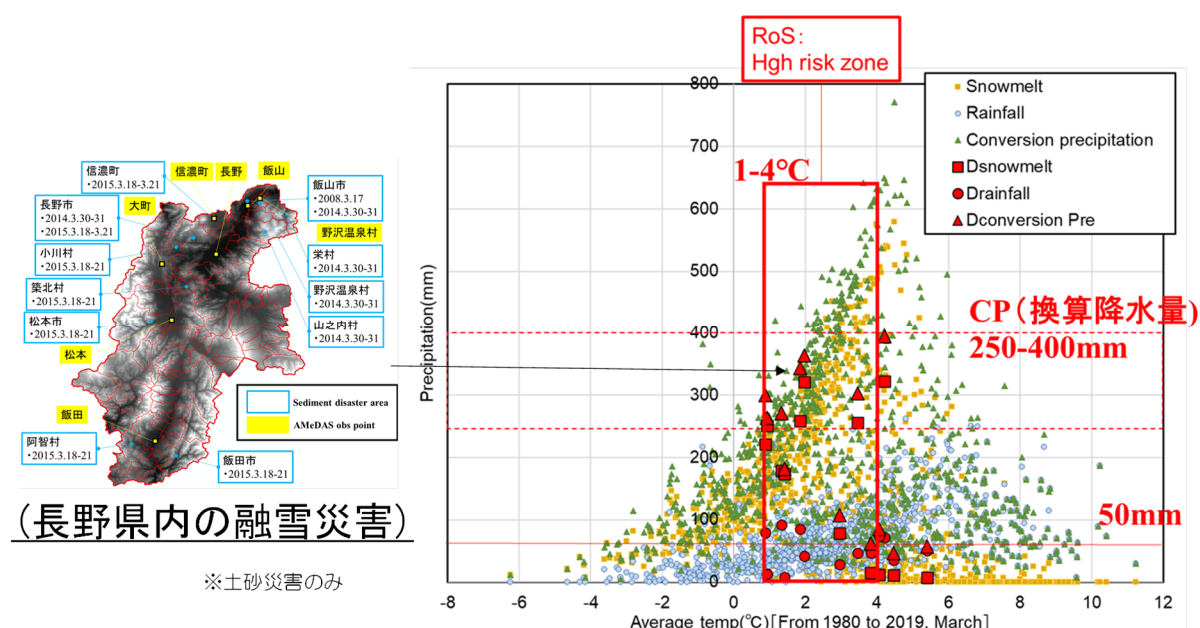


図4.4 月換算降水量と月平均気温の関係図

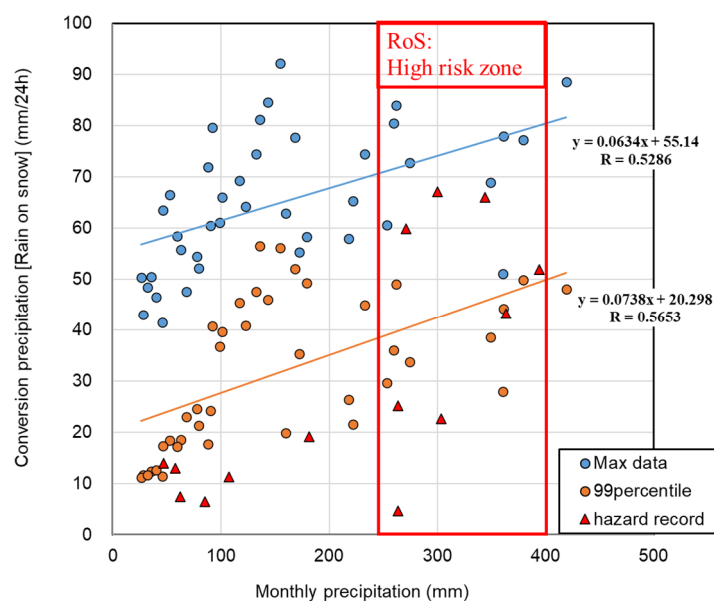


図4.5 月降水量と日換算降水量の関係図

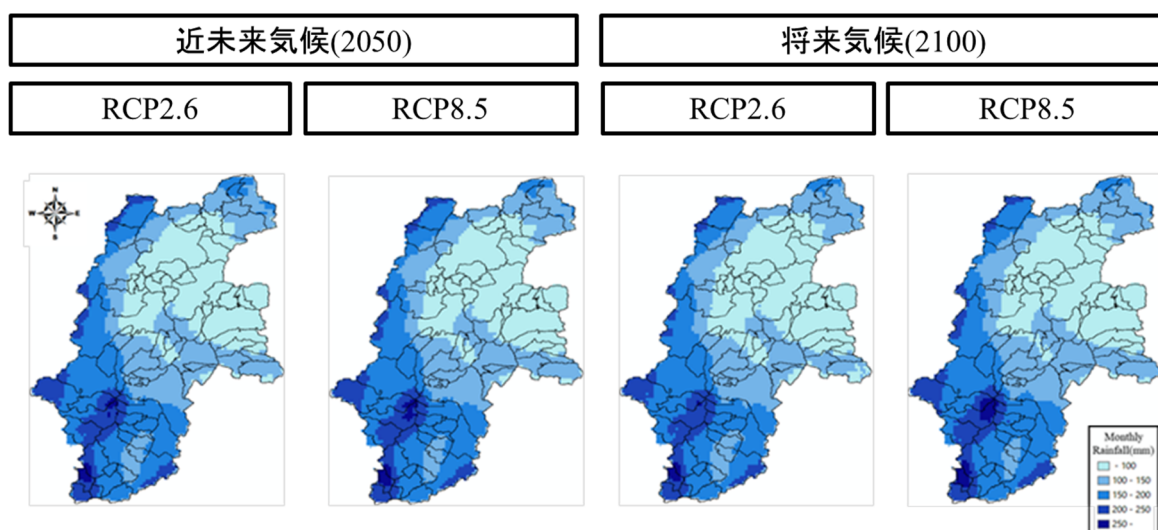


図4.6 マルチアンサンブル平均値の日換算降水量解析結果

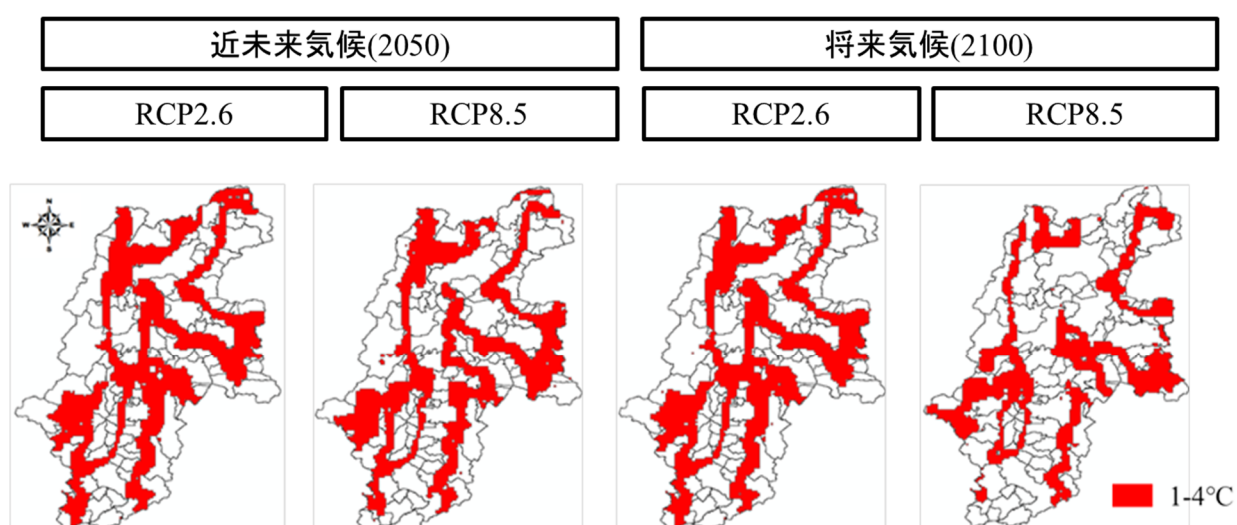


図4.7 平均気温1-4°Cの出現領域

## 4.2 土砂災害リスクマップの開発(項目②)の結果

現在および近未来、将来気候の日換算降水量(RoS)を土砂災害リスクモデルに入力することで取得された土砂災害警戒区域のリスクマップを図4.8に示す。また、図4.9は各気候時期とシナリオにおける土砂災害警戒区域の発生確率を頻度分布で図化したグラフである。また、図3.10には、現在気候RoSにおける発生確率との数量差を示した。

図4.8の土砂災害リスクマップが示す結果として、抜本的に県内の平地に近接する土砂災害警戒区域のリスクは低下する傾向を示すこと、時期変化および温室効果ガスの排出量増加(ECP8.5)に伴い山岳地域に分布する土砂災害警戒区域のリスクが上昇することが把握された。この結果は、平均気温1～4℃の領域が高地に移行した状況が反映されたものである。基本的に居住域に設定された多数の土砂災害警戒区域のリスク値は低下する一方で、長野県北東部、長野県南部の高標高領域の土砂災害区域のリスクが高まることが示されている。図4.9、4.10の各気候時期とシナリオにおける土砂災害警戒区域の発生確率を頻度分布より、長野県内全体数量として、融雪に伴う土砂災害発生確率のリスクは減少することが示されている。この結果は、平地に近接する土砂災害警戒区域のリスクが低下した影響を示すものである。その一方で、依然、高地に認められる土砂災害警戒区域は高い発生確率を維持していることを示唆している。そのため、融雪に関すれば高地はリスクの高まる領域であり、融雪に関する対策が引き続き必要といえる。

なお、当該モデルの精度、評価の検証を行うため、長野市保科・松代地区に分布する土砂災害警戒区域に関する現地調査を実施した(図4.11参照)。この地域の土砂災害リスクの評価を参考にすれば、現在は融雪に伴うリスクは高く、時間変化、および温室効果排出量増加に伴いリスク低下する地域である。結果として、現在の状況は、風化した凝灰岩が地内を流出した荒廃、崩壊した斜面を呈し、崩壊地点の木々は植生根で耐える状況であることを把握した。近隣住民へ聞き込みを行った結果、2020年春先の融雪による説明もあった。したがって、本解析によって得られた土砂災害警戒区域における土砂災害

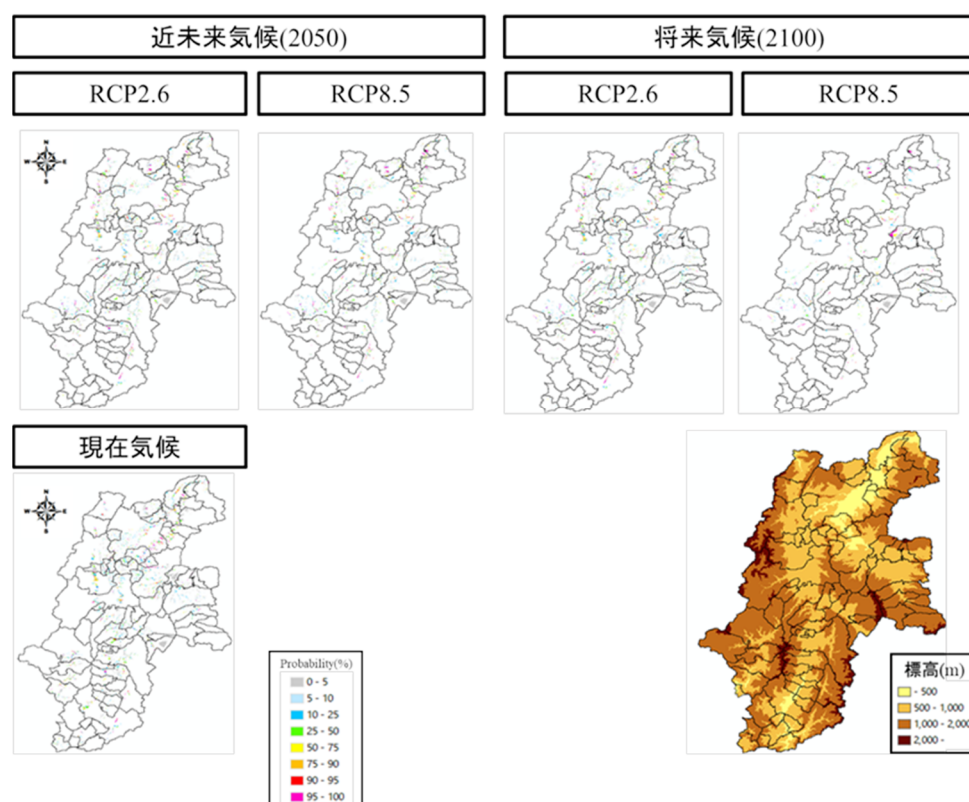


図4.8 土砂災害警戒区域のリスクマップ

発生確率の高い地域は、実際に融雪に伴う土砂災害が発生している結果を得ている。当該モデルの精度、評価として問題ないことを示している。

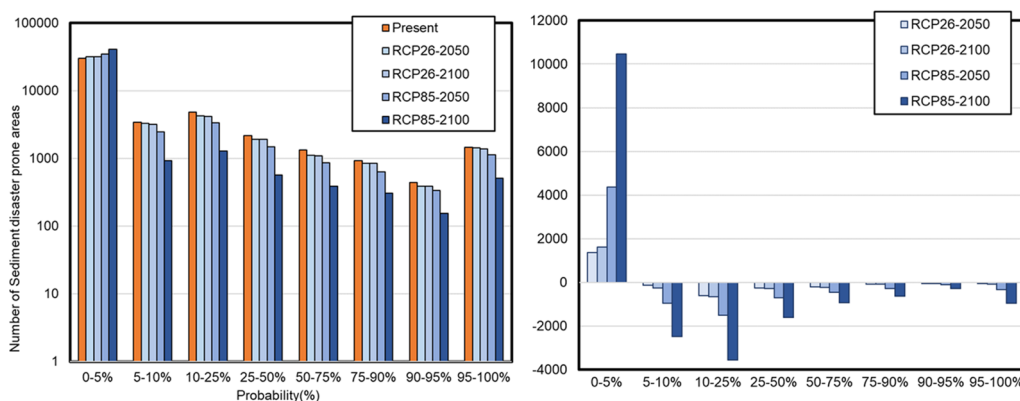
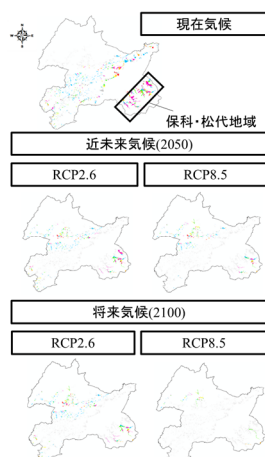


図4.9 土砂災害警戒区域リスク頻度

図4.10 土砂災害警戒区域リスク頻度差(基準：現在)



(保科・松代地区リスク分布)

(土砂災害警戒区域内斜面崩壊状況)

図4.11 土砂災害警戒区域リスク検証事例(事例：長野市保科・松代地区)

### 3.3 豪雨と融雪の統合化リスクの導出(項目③)の結果

改良開発された融雪による土砂災害リスクと豪雨による土砂災害リスクの統合化を図るため、これらの関係性を図4.12にまとめた。また、この関係性を得た結果を基に適応実施の優先度として区分し、マップ化した結果を図4.13に示す。なお、融雪(寒候期の土砂災害誘発イベント)と豪雨(暖候期の土砂災害誘発イベント)の土砂災害の関係性から適応実施の区分は以下を基準として設定したものである。

#### ■Option A：(暖候期・寒候期が共に発生確率80-100%)

→迅速に「被災防除対応措置」の実施しなければならない区域群(例：保全対象物移転など)。

#### ■Option B：(暖候期・寒候期が共に発生確率50-80%)

→「早急の対策」と「防災対応組織の義務化」の必要な区域群(例：保全対象物移転，保全対象の重点度に応じたハード対策，地域防災組織義務化，防災教育必須)。

#### ■Option C：(暖候期・寒候期のどちらかが発生確率80-100%)

→「早急の対策」と「防災対応結成」が勧告される区域群(Option Bと同等)

#### ■Option D：(暖候期・寒候期が共に発生確率20-50%)

→人災軽減のための対応を確保する必要がある区域群(例：保全対象物移転，保全対象の重点度に応じた土砂流出抑止工を用いたハード対策，避難経路を確保するための整備)



■ Option E : (暖候期・寒候期が共に発生確率0-20%)

→土砂災害警戒区域として最低限必要な対策を講じなければならない区域群(例：確実に区域内に伝搬される防災無線などの防災情報整備，避難支援等の防災体制の整備)。

この設定はあくまでもサンプルであり，実際の区分には，地方自治体，地域のニーズにと予算に依存することになる．対応の予算性を考慮して本結果は数的なバランスを基に設定したものである．検討に本研究および暖候期解析によって開発されたリスク情報は活用可能である．なお，本研究のリスク情報は現象の発生確率のみを対象とした結果であり，さらに土砂災害警戒区域内の経済的な価値も含めて，保全重要性を考慮すれば区域の対策対応が提示しやすくなると考える．

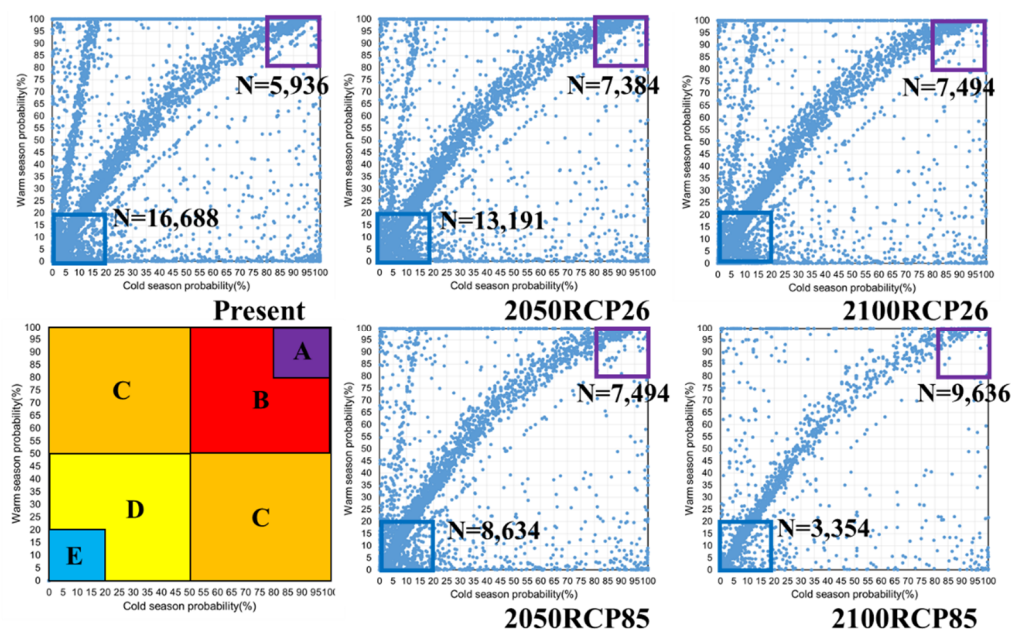


図4.12 融雪(寒候期)と豪雨(暖候期)の土砂災害リスクの関係図

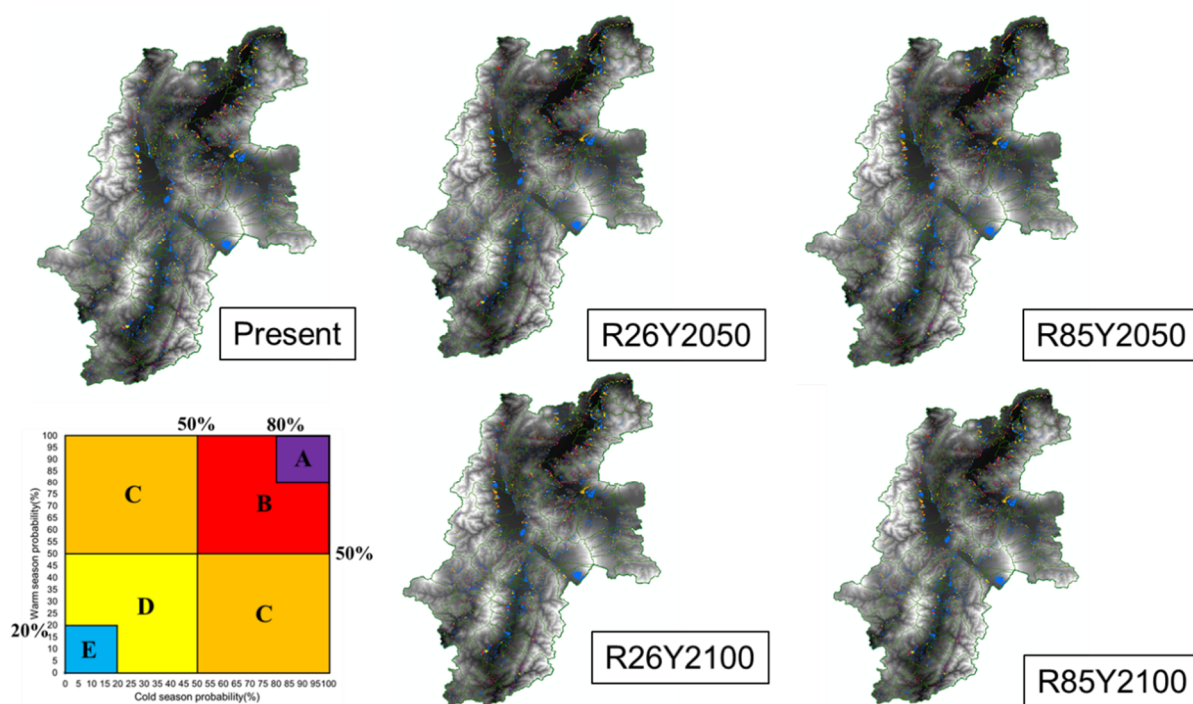


図4.13 融雪(寒候期)と豪雨(暖候期)の土砂災害リスク区分の分布図

### 3.4 データベース活用事例(項目④)の結果

改良開発された融雪による土砂災害リスクに豪雨による土砂災害リスクの関係を当てはめることで、寒候期—暖候期のマルチな土砂災害誘発イベントに対する統合的な土砂災害リスクを求めることができた。また、この結果を数値地理情報化することでデータベースが完成された。ただし、このデータベース化の一般も認知しやすい利活用方法は多岐にわたる。また、行政者からのヒアリングを研究期間中に実施したが、気候変動リスクの課題があったとしても現業の中での課題の組み込み方法が試行錯誤されている状況であり、理解、実行しにくい印象を受けた。まずは、すぐにデータを利用させる、①接続性をもつ持続的な情報にすること、②利活用方法の具体的な事例を提示することが必要ということ把握した。「適応策実行案連動」、「土砂災害警戒区域調書との連動」、「立体可視化」などの措置を進めていくことが望ましいと考える。以上の状況を踏まえ、数値地理情報、UAV取得データを用いて3次元化データを作成し、立体可視化の具体的な利用例を示した。データベースの図化事例として3次元化した情報にリスク値を示し、利用事例としてUAVを用いた緻密情報との重複によるモニタリング案も示した。ここでは数値地理情報との結果を示す。

図4.14は長野県全体の3次元化した本解析のアウトプット、図4.15は長野市をクローズアップして作成した3次元化したアウトプットの情報である。長野県全体の図化に関しては全体像の傾向を把握できる一方で緻密な地域情報は把握しにくい状況にある。ただし、市町村レベルに巨視化すれば地域情報も推察できる。こうした状況をみても、一元的な可視化だけではなく、用途に合わせてスケールアップを可能にすることを容易にすることがシステム運営では必要である。近年のウェブ上のコンテンツを見ても可能な対応であるため、こうしたシステムに反映していくことが望ましいと考えられる。

なお、UAVによる情報の可視化に取り組んだ取り組みも実施した。融雪、降雨の気候変動予測結果を利活用することで土砂災害リスクは動的な情報として提供できる状態になった。しかしながら、本質的な災害リスクは気象の状況だけで変化せずに、地質の風化劣化、土地被覆の改変、人口・社会構造により変化する。したがってリアルタイムの情報とフィックスさせていくことが今後進展させるべき課題といえる。今回のUAVの情報の可視化データと成果の成果は重複可能な状態であり、この重複を利用した更なる真価が期待される。

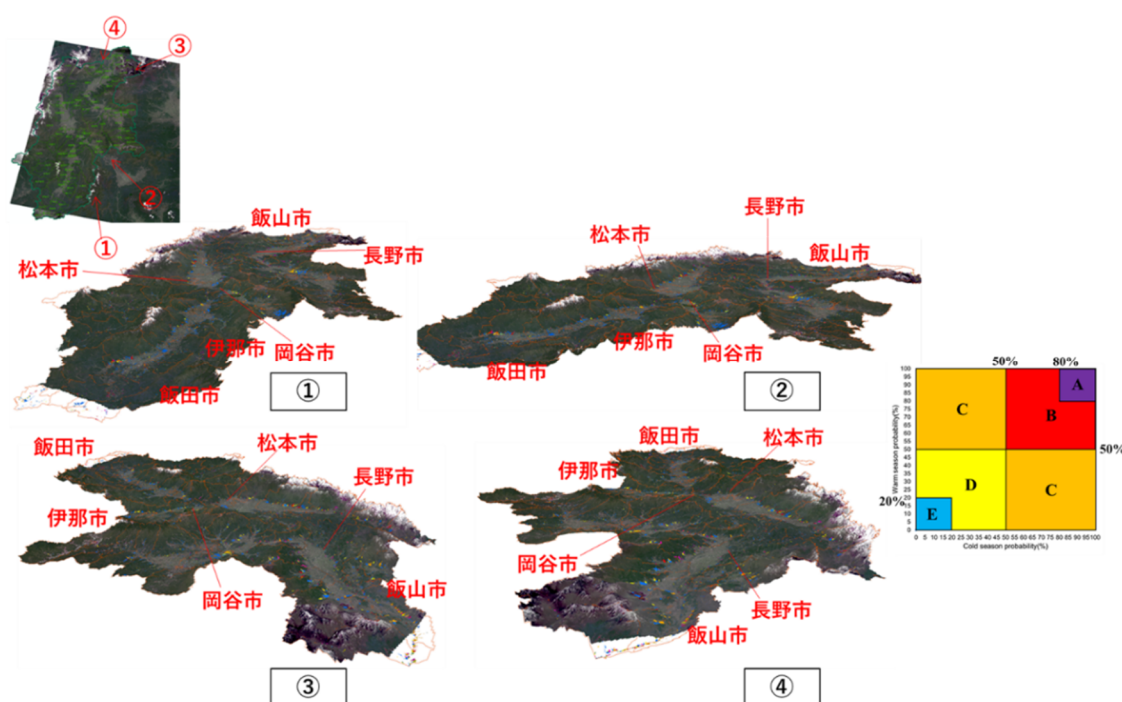


図4.14 長野県全体を3次元化した土砂災害リスクマップ

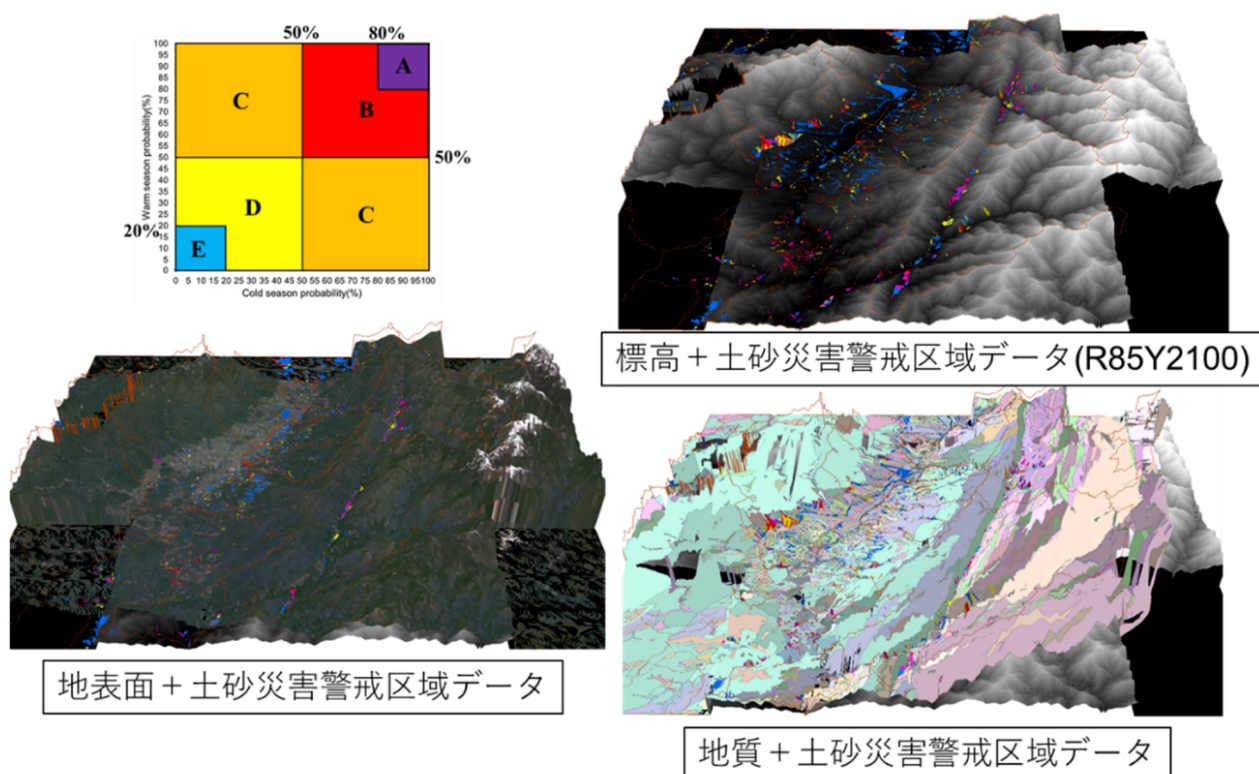


図4.15 長野市全体を3次元化した土砂災害リスクマップ

## 5. 研究目標の達成状況

豪雨に対する土砂災害発生リスクモデルを融雪も対象にできるモデルへと改良開発した。この開発により、寒候期(融雪)と暖候期(豪雨)のマルチな気象条件による土砂災害発生リスクを統合し、土砂災害警戒区域毎のリスクのデータベースを開発した。また、この開発により作成されたデータベースの情報により、モデル市町村と共有し、土砂災害の適応策に利用できる情報へ改良し、この情報およびツールのプロトタイプをクラウド上で公開することを可能にした。以上より、研究目標通りの成果を得ることができ、目標どおりの成果をあげることができた。

## 6. 参考文献

- 1) 星野剛, 山田朋人: アンサンブル気候データを用いた降雨強度-気温の関係の分析, 土木学会論文集B1(水工学), 77巻2号, pp. I\_1267-I\_1272, 2021.
- 2) 臼田裕一郎: ICTと科学技術イノベーションに関する国家的な取り組みの動向と災害情報・防災分野へのインパクト, 災害情報, 16巻2号, pp. 119-122, 2018.
- 3) 牛山素行: 豪雨による人的被害発生場所と災害リスク情報の関係について, 自然災害科学, 38巻4号, pp. 487-502, 2020.
- 4) 国土交通省: 砂防 土砂災害防止法の概要, <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/linksinpou.html>, Site Viewed: 2022/03/31.
- 5) 総務省: 土砂災害警戒区域の基礎調査及び土砂災害警戒区域等の指定の推進, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000486867.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000486867.pdf), Site Viewed: 2022/03/31.
- 6) 環境省・気象庁: 環境省日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について, <http://www.env.go.jp/press/19034.html>, Site viewed: 2022/03/31.

- 7) Kawase, H., A. Murata, R. Mizuta, H. Sasaki, M. Nosaka, M. Ishii, and I. Takayabu : Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. *Climatic Change*, 139, pp. 265-278, 2016.
- 8) Kattlemann R : Water release from a forested snowpack during rainfall. *IAHS-AISH*, 167, pp. 265-272, 1987.
- 9) 伊豫部勉, 河島克久, 松元高峰 : 山陰地方における rain-on-snow events にともなう融雪災害, 雪氷研究大会, 講演要旨集, pp. 226, 2017.
- 10) 梶山正弘, 後藤博, 金谷晃誠, 菊地勝弘 : 気象要素を考慮した新積雪密度の推定式, 日本雪氷学会誌(雪氷)66巻5号561-565 , 2004.
- 11) 阿部修, 清水増二郎 : 多雪地における雪荷重算定のための等価積雪密度について, 日本雪氷学会誌(雪氷)66巻1号11-1 , 2004.
- 12) 松下拓樹, 池田慎二, 石川茂, 石田孝司, 和泉薫 : 気温を考慮した等価積雪密度の推定について, 雪氷研究大会, 2014.
- 13) 浜田崇, 富樫均 : 長野県飯綱山周辺における積雪密度と標高・季節の関係, 雪氷研究大会, 2014.
- 14) 宮田俊介, 朝岡良浩, 風間聡 : 全国のAMeDAS観測点におけるDegree-Day法および融雪係数の検証, 土木学会論文集B1 (水工学), 68巻4号, pp. I\_343-I\_348, 2012.
- 15) Truett, J. J., Cornfield, J. and Kannel, W. B. : A multivariate analysis of the risk of coronary heart disease in Framingham. *J. Chron. Dis.* 20, pp. 9-22, 2000.
- 16) Ohlmacher, G. C. and Davis, J. T. : Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA, *Engineering Geology*, 69, Issues 3-4, pp. 331-343, 2003.
- 17) S. Kawagoe, S. Kazama, and P. R. Sarukkalgige : Probabilistic modelling of rainfall induced landslide hazard assessment, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, pp. 1047-1061, 2010.
- 18) 齋藤洋介, Thuy Thi Thanh LE, 川越清樹 : 地域への適用性をふまえた斜面崩壊発生確率モデルとアウトプットの開発, 土木学会論文集G(環境), 73, pp. I\_229-I\_238, 2017.



## Ⅱ－５ 凍霜害及び雨氷害早期警戒情報の作成

東北大学大学院理学研究科

地球物理学専攻 流体地球物理学講座

山崎 剛

〈研究協力者〉

東北大学大学院理学研究科

地球物理学専攻 流体地球物理学講座

岩波 発彦（令和１～２年度）

地球物理学専攻 流体地球物理学講座

瀧口 海人（令和２～３年度）

### 〔要旨〕

気候変動適応に必要な情報デザインの構築の一環として、凍霜害・雨氷害の気象状況と被害の関係解明と、短期リスク情報提供手法について試行と改良を行った。霜の発生を植生熱収支モデルにより再現できることを確かめ、霜の予測に下向き長波放射が重要であることを示した。週間アンサンブル予報から、霜の確率的な危険度情報を提供するサンプルを作成した。雨氷については数値モデルにより、寒気の移動を定量的に評価できるようにした。また、雲物理過程のあるパラメータに着目することにより、雨氷の発生リスクを予測できる可能性があることを示した。おおむね研究目標を達成し、アンサンブル予報を用いた霜の確率的な危険度情報の提供手法と、雨氷の発生リスクの予報可能性を示したことは目標を大きく上回る成果である。

### １．研究開発目的

温暖化の進行に伴い、霜の降りる期間は短くなるものの、農作物の発育が早期化し凍霜害の危険の増大が懸念されている。現に近年も凍霜害が発生し、大きな経済的損失を受けている。また、雨氷害は日本では発生頻度は高くないが、ひとたび発生すると林業へのダメージや交通障害、停電など大きな社会的影響を与える。凍霜害および雨氷害は農業および林業の現場においてはその対策が喫緊の課題であり、かつ将来の気候変動によってそれらの発生頻度がどのように変化するかは大きな関心事でもある。本課題では、気候変動適応に必要な種々の情報を、関係者間でのリスクコミュニケーションを通じて、適応策の実施主体にとって使いやすく、価値ある情報となるような情報デザインを構築する。本サブテーマはそのうち、短期的な影響への対応に必要な情報として、凍霜害・雨氷害を対象とする。

### ２．研究目標

農作物に関する凍霜害および森林の雨氷害と気象状況との関係性を、凍霜害については植生熱収支モデルを用い、雨氷害については大気数値モデルを用いて明らかにする。気象庁の週間アンサンブル予報から、確率情報をつけた凍霜害、雨氷発生の中短期リスク情報を作成する。開発した凍霜害、雨氷発生リスク情報提供手法について、ユーザーを通じた試行と改良を加え、その成果とツールのプロトタイプをクラウド上で公開する。

### ３．研究開発内容

農作物に関する凍霜害、森林の雨氷被害を対象として、週間アンサンブル予報から、確率情報をつけた凍霜害、雨氷発生の中短期リスク情報を作成することを計画した（図5.1）。

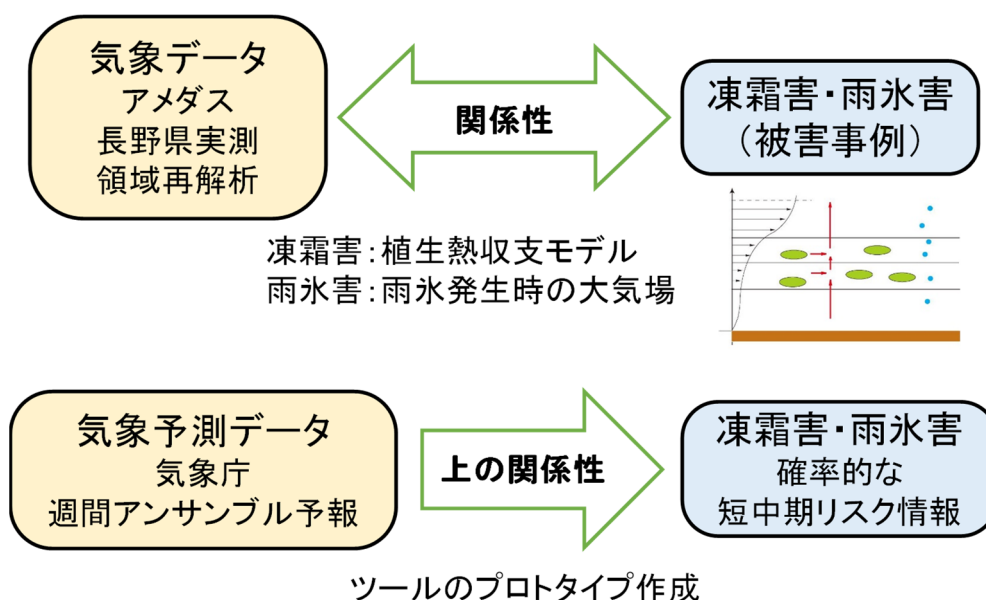


図5.1 研究開発のイメージ図

具体的には、以下のような年次計画とした。

#### 2019年度

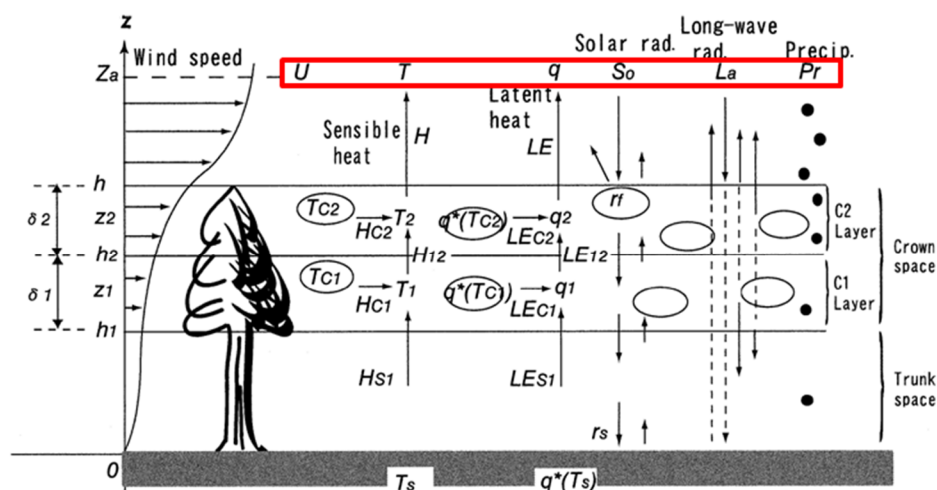
サブテーマ3の協力のもと、凍霜害、雨氷害の事例を収集し、凍霜害、雨氷害をもたらす気象状況を調べ、被害との関係性を明らかにする。気象データを入力して植生の温度や濡れ、霜などをシミュレーションできる植生熱収支モデル2LM<sup>1)</sup> (図5.2) に、アメダスや長野県保有の実測気象データを入力して、凍霜害の発生機構を明らかにする。長野県の農業試験場や気象庁気候情報課などの関係者に聞き取りを行い、ニーズの把握や入手可能なデータの調査などを進める。2016年1月29日の雨氷を対象として、数値モデルにより大気場の特徴を明らかにし、雨氷を生じさせる寒気の由来を研究する。

#### 2020年度

植生熱収支モデルに領域再解析データを用いて、凍霜害発生を評価する。気象庁の週間アンサンブル予報から、凍霜害、雨氷発生の確率的な短中期リスク情報を提供する手法を研究する。

#### 2021年度

開発した凍霜害、雨氷発生のリスク情報提供手法について、ユーザー（農業従事者）を通じた試行と改良を加え、その成果とツールのプロトタイプをクラウド上で公開する。

図5.2 植生熱収支モデル2LMの概略図<sup>1)</sup>

この計画に基づき、以下の研究を実施した。

凍霜害の発生に関して、サブテーマ3の協力のもと、長野県における凍霜害の事例を収集した。平成11年以降、凍霜害は33件の報告があった。気象データから霜の発生を推定する植生熱収支モデル2LM（図5.2）に、2013年4月22日～23日に長野県で大きな被害を生じた事例を中心に、気象データの収集を図り、2LMによる霜の再現性を調べた。植生熱収支モデルへの入力値に関する感度を調べ、重要な気象要素を特定した。アンサンブル予報による危険度情報のサンプルを作成した。

気象庁気候情報課と凍霜害に関する気象情報の利用に関する意見交換を行った。週間アンサンブル予報は11日先まで1日2回の風、気温、相対湿度、積算降水量、全雲量について、確率情報をつけることができる。2週間気温予報が毎日提供され、地点ごとの最高・最低気温が得られる。2週間目は5日間平均を予報している。

長野県農業試験場および福島県果樹試験場での聞き取りにより、必要なリスク情報に関する知見を得た。リスク情報の提供時期としては、1週間前、前日と段階的な情報提供が望まれ、確率的情報は前々日に見られるとよい。2週間前の情報に対する要望は高くなかった。農家に直接届く方法が重要である。また、最近の農業従事者は自ら様々な気象情報等を取りに行く傾向がある。これらを情報デザインとして念頭に置いた。

仙台管区气象台にて、通常測定されていない長波放射を含めた気象観測を実施し、補助的に利用した。

雨氷に関しては、2016年1月29日に長野県で大きな被害を出した事例を中心に気象庁気象研究所の非静力学モデルにより、このときの大気場の再現を試み、寒気を定量的に扱って流入経路の特定や特徴を研究した。また、雨氷の短期予報は現状では難しい状況にあるが、雲物理過程のパラメータを検討することによって、予報につながる知見を追求した。

#### 4. 結果及び考察

植生熱収支モデル2LMを用いて、顕著な凍霜害が発生した2013年4月をはじめ、2013年から2018年の長野県を対象として霜の発生推定について評価した。モデルによる霜の発生条件は以下のように仮定した。(1) 葉面固体水分量が増加する。(2) 降水なし（着雪による固体水分量の増加を除くため）。(3) 潜熱（水蒸気）フラックスが大気から葉面に向かう（凝結）。(4) 液体水の凍結でない（葉面水分量（固体+液体）が増加し、かつ葉面温度が 0℃以下）。

まず、霜の再現性を調べ、発生を過大評価する傾向が見られたが、発生状況を概ね再現できることがわかった（表5.1）。モデルによる霜発生時の物理量の計算例を図3に示す。葉面温度が0℃以下になり、大気から葉面への水蒸気輸送を示す負の潜熱とともに葉面固体水分が生じており、霜が発生している状況を示している。

表5.2はモデルによる霜推定日を霜注意報の発令日とともに示したものである。霜注意報はやや安全側に立って発表されるとみられ、過大評価の傾向があるモデルよりもさらに高頻度である。ただし、軽井沢はモデルがほとんどの日において霜が発生と推定している。これは軽井沢の標高が999 mと地域内でも高く、気温が低いことが影響していると考えられる。

表5.1 霜と凍結の日数（長野）。上段：長野地方气象台での観測，中段：2LMによる霜日数（霜発生条件をすべて満足），下段：2LMによる凍結日数（霜発生条件(4)を除き満足）

| 年  |     | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 計  |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|----|
| 霜  | 観測  | 12   | 10   | 1    | 2    | 5    | 4    | 34 |
| 霜  | モデル | 23   | 22   | 5    | 8    | 14   | 6    | 78 |
| 凍結 | モデル | 28   | 23   | 10   | 9    | 14   | 7    | 91 |

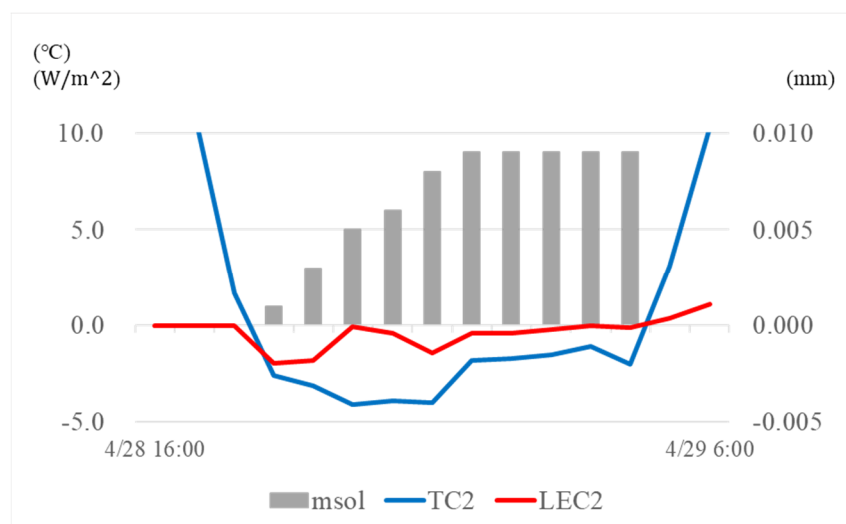


図3 2LMによる霜発生時の物理量の計算例（長野2013年4月28～29日）。縦棒（msol）：葉面固体水分量（右軸）、青線（TC2）：葉面（上層）の温度（左軸）、赤線（LEC2）：葉面から大気への潜熱フラックス（左軸、負が葉面への凝結を表す）。

表5.2 モデルによる霜推定日と霜注意報の発令日（2013年）

|         | 長野   |     | 松本   |     | 諏訪   |     | 軽井沢  |     | 飯田   |       |
|---------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-------|
|         | 霜注意報 | 霜発生 | 霜注意報 | 霜発生 | 霜注意報 | 霜発生 | 霜注意報 | 霜発生 | 霜注意報 | 霜発生   |
| 4/13-14 | ○    |     | ○    |     | ○    |     | ○    | ○   | ○    |       |
| 4/14-15 |      |     |      |     |      |     |      | ○   |      |       |
| 4/15-16 | ○    | ○   | ○    |     | ○    |     | ○    | ○   | ○    |       |
| 4/16-17 |      |     |      |     |      |     |      | ○   |      |       |
| 4/17-18 |      |     |      |     |      |     |      | ○   |      |       |
| 4/18-19 | ○    |     | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   |      |       |
| 4/19-20 | ○    | ○   | ○    |     | ○    |     | ○    | ○   | ○    |       |
| 4/20-21 |      |     |      |     |      |     |      |     |      |       |
| 4/21-22 | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○     |
| 4/22-23 | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○     |
| 4/23-24 | ○    | ○   | ○    |     | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    |       |
| 4/24-25 | ○    |     | ○    |     | ○    |     | ○    | ○   | ○    |       |
| 4/25-26 |      |     |      |     |      |     |      | ○   |      |       |
| 4/26-27 | ○    |     | ○    | ○   | ○    |     | ○    | ○   | ○    | ○     |
| 4/27-28 | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○     |
| 4/28-29 | ○    | ○   | ○    | ○   | ○    |     | ○    | ○   | ○    | ○     |
| 4/29-30 |      |     |      |     |      |     |      | ○   |      |       |
|         |      |     |      |     |      |     |      |     |      | 計     |
| 適中      | 13   |     | 12   |     | 11   |     | 12   |     | 12   | 60    |
| 空振り     | 4    |     | 5    |     | 6    |     | 0    |     | 5    | 20    |
| 見逃し     | 0    |     | 0    |     | 0    |     | 5    |     | 0    | 5     |
|         |      |     |      |     |      |     |      |     |      | 70.6% |
|         |      |     |      |     |      |     |      |     |      | 23.5% |
|         |      |     |      |     |      |     |      |     |      | 5.9%  |

モデルに入力する気象6要素について、予報誤差または推定誤差程度の不確実性がある場合の霜の発生推定に及ぼす影響を調べた。それぞれの要素を独立に変化させて霜推定日数の増減をみた。さらに、気温変化に対し、水蒸気圧を不変として相対湿度を計算し、変化後の値から放射量を推定する場合も調べた。入力気象要素を独立して変化させた実験では、霜の発生推定に最も影響を与えたのは下向き長波放射であった（表5.3）。気温の変化に対して、水蒸気圧を不変として相対湿度を計算し、変化後の値から放射量も連動させる実験では、気温1℃の上昇に対して、下向き長波放射量の日平均値は3～5 W/m<sup>2</sup>増加し、葉面温度は夜間葉面が乾いた状態では0.5～0.7℃上昇した。結果として、霜の推定日数は気温1℃の上昇に対して約20%減少した（表5.4）。



表5.3 推定日数の変化（下向き長波放射）

| (W m <sup>-2</sup> ) | +10 | +5 | ctl | -5 | -10 |
|----------------------|-----|----|-----|----|-----|
| 霜                    | 42  | 56 | 73  | 87 | 100 |
| 凍結                   | 5   | 13 | 13  | 12 | 19  |
| 無→霜                  |     |    |     | 5  | 14  |
| 無→凍結                 |     |    |     | 8  | 19  |
| 凍結→霜                 |     |    |     | 9  | 13  |
| 霜→凍結                 | 4   | 10 |     |    |     |
| 凍結→無                 | 12  | 10 |     |    |     |
| 霜→無                  | 27  | 7  |     |    |     |

表5.4 推定日数の変化（気温連動）

| (°C) | +2.0 | +1.0 | ctl | -1.0 | -2.0 |
|------|------|------|-----|------|------|
| 霜    | 39   | 59   | 73  | 90   | 100  |
| 凍結   | 9    | 11   | 13  | 8    | 15   |
| 無→霜  |      |      |     | 6    | 15   |
| 無→凍結 |      |      |     | 6    | 14   |
| 凍結→霜 |      |      |     | 11   | 12   |
| 霜→凍結 | 8    | 8    |     |      |      |
| 凍結→無 | 12   | 10   |     |      |      |
| 霜→無  | 26   | 6    |     |      |      |

気象庁の週間アンサンブル予報データ27メンバーの気温・相対湿度・風速の3要素について、最寄りの格子点アンサンブル平均値からの偏差を観測データに加えることにより、それぞれ27通りの計算を行った。2017年4月の長野を対象として、実験を実施した。モデルへの入力値作成例を図5.4に示す。図の左上が気温の観測値で、これに右に示すモデルの各メンバーのアンサンブル平均からの偏差を加えたものが、陸面過程モデルへの入力値（左下）になる。

図5.5に霜が観測されモデルでも予測された4月23日、観測はされずモデルのみが霜を予測した22日、霜注意報は発令されたが観測・モデルともに霜がなかった20日についての検証結果を示す。それぞれ1日前から7日前までのアンサンブル予報のデータを用いて、予報時間の長さによる霜の発生推定の変化を評価した。4月23日については、予報時間が長くなっても、全メンバーで葉面温度が 0 °Cを下回り、そのほとんどで霜の発生を推定した。4月22日については、一部で葉面温度が 0 °Cを下回らず、霜の発生を推定しなかった。4月20日は予報時間が長くなってもそのほとんどで葉面温度が 0 °Cを下回らず、凍霜害の危険度も低くなった。

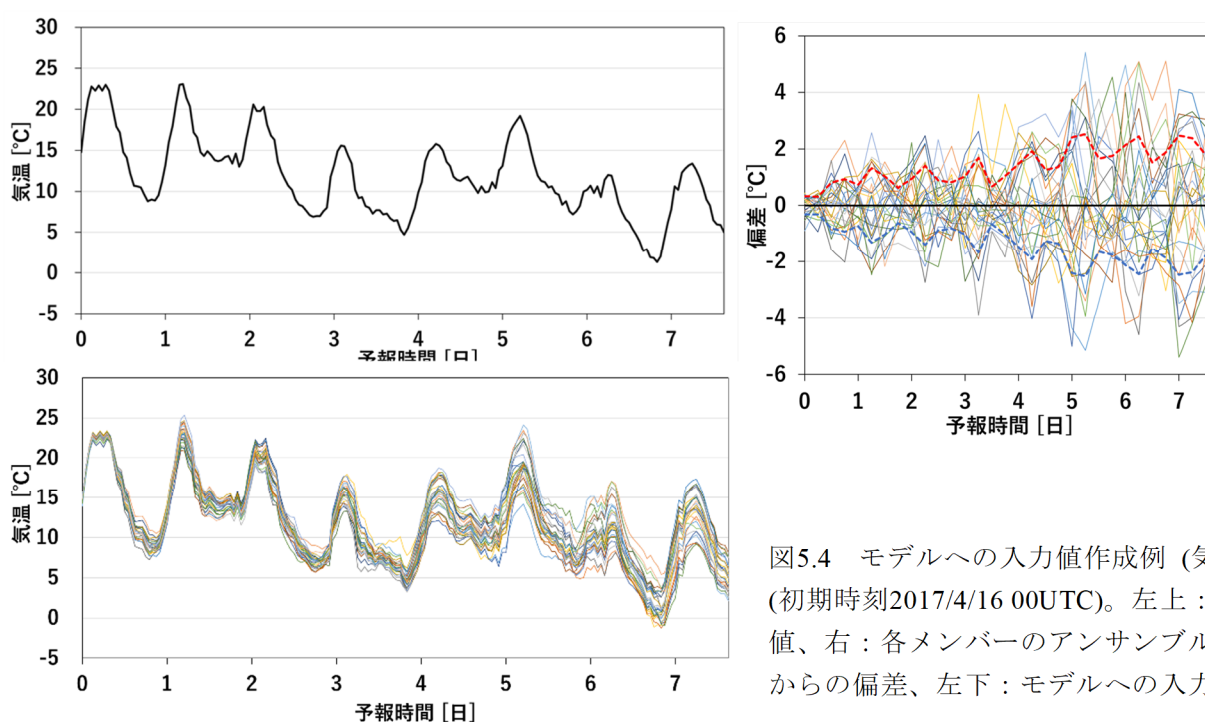


図5.4 モデルへの入力値作成例（気温）（初期時刻2017/4/16 00UTC）。左上：観測値、右：各メンバーのアンサンブル平均からの偏差、左下：モデルへの入力値。

熱収支モデルは日射量や下向き長波放射量などの気象要素を測定あるいは推定して用いる必要がある。そこで、前日の湿度と気温等から降霜を予測する簡便な手法<sup>2)-4)</sup>についても適用可能性の検討を行った。これらの方法は前日の気温や湿度が入手できる前提で、有効と考えられる。また、機械学習の応用も検討したが、凍霜害や雨氷に関しては学習データが十分に得られないことから、適用は難しいと判断された。

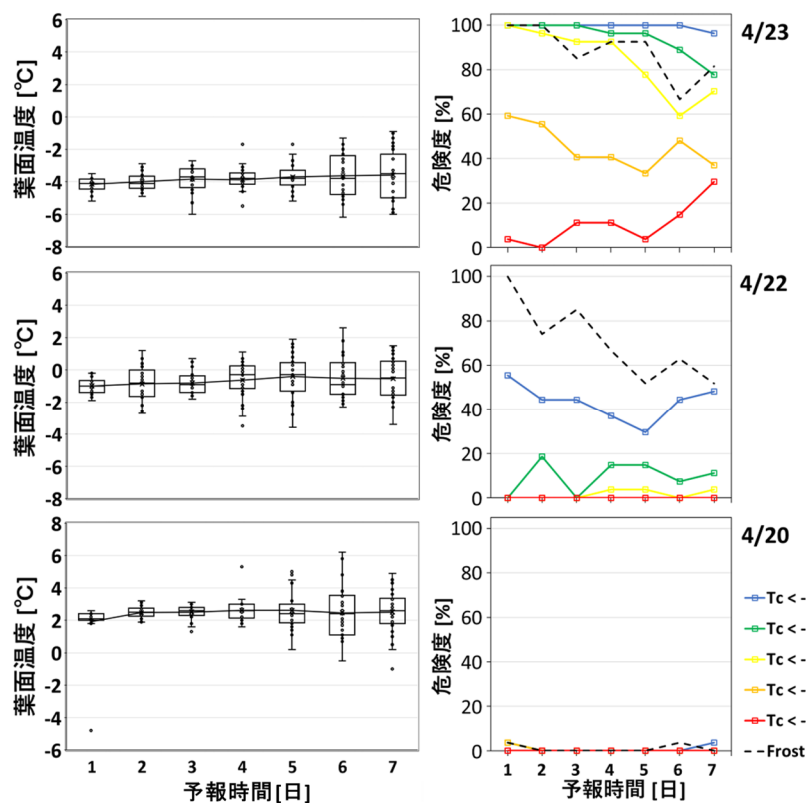


図5.5 予報時間による最低葉温と凍霜害の危険度。左：折れ線は最低葉温平均値の推移。箱ひげ図は各メンバーのばらつき。右：破線は霜予測したメンバーの割合、色は葉温が右下凡例以下となったメンバーの割合。上：4月23日、中：4月22日、下：4月20日。

2016年1月29～30日に長野県で発生した雨氷現象を対象に気象庁非静力学モデルNHMを用いた数値シミュレーションを行うことで、雨氷が発生する環境場の再現と議論、および雨氷発生地域の特定について研究を行なった。

NHMで計算した結果を用いて寒気の定量的な解析や、雲物理過程のPGACRと呼ばれるパラメータの出力を行うことにより雨氷が発生する大気場について解析した。PGACRは時間あたりにモデル内であられが雨を捕捉併合し、雨をあられに変化させる量であり、雨氷が発生する大気場では雨とあられがモデル内で同時に存在することが多いことから雨氷の発生地域の特定に用いた。

NHMの水平解像度2km解析により北関東、日本海の2方向から寒気が流れ込んでいることがわかった。一方でNHM2km解析では寒気が倒木害のあった松本市周辺までは流れ込んでいることは確認できず、融解層下部の再冷却層の形成には不十分であり雨氷の発生条件を満たせていなかった。次にNHM2km解析を初期値・境界値としたNHM1km解析を行なった結果、松本市周辺に流入する寒気質量は増大し、地表付近の薄い再冷却層を形成することによって、雨氷が発生しやすい大気場を再現することができた(図5.6、5.7)。この結果から、長野県のような複雑な山岳地形を持つ地域では2kmのような高解像度の初期値・境界値からさらにダウンスケールすることによって雨氷が発生しやすい大気の再現性が向上することがわかった。また、地形を改変する実験により、寒気は日本海からの流れが支配的であると推測さ

れた。

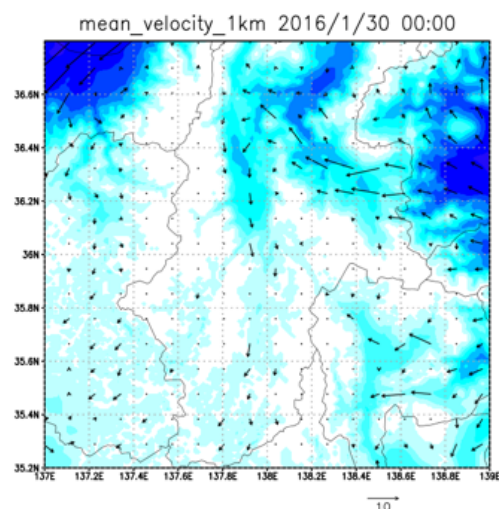


図 5.6 NHM1km 解像度での質量重み付け平均速度  
シェードは寒気質量(hPa)、ベクトルは質量重み付

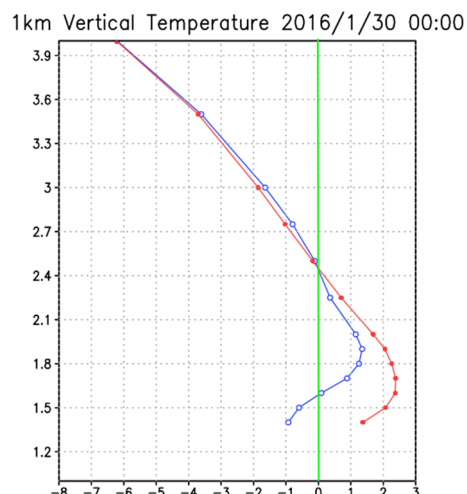


図 5.7 長野県山形村での気温の鉛直分布シミュレーション 赤線:2km 解析, 青線:1km 解析, 縦軸は高度(km)

雲・降水粒子の鉛直分布は高度2km以上では雪が支配的であるが、融解層を通過することでほとんどが雨に変換され、地上に降り注いだ。一部の雨は地表付近で併合によりあられに変換され、地表付近でPGACRが高く出力された。PGACRの地表付近での分布を見ると、長野県の調査によって実際に雨水による倒木があった地域とほぼ同じ分布をしていて、PGACRに雨水の分布特定性があると考えられる（図 5.8）。

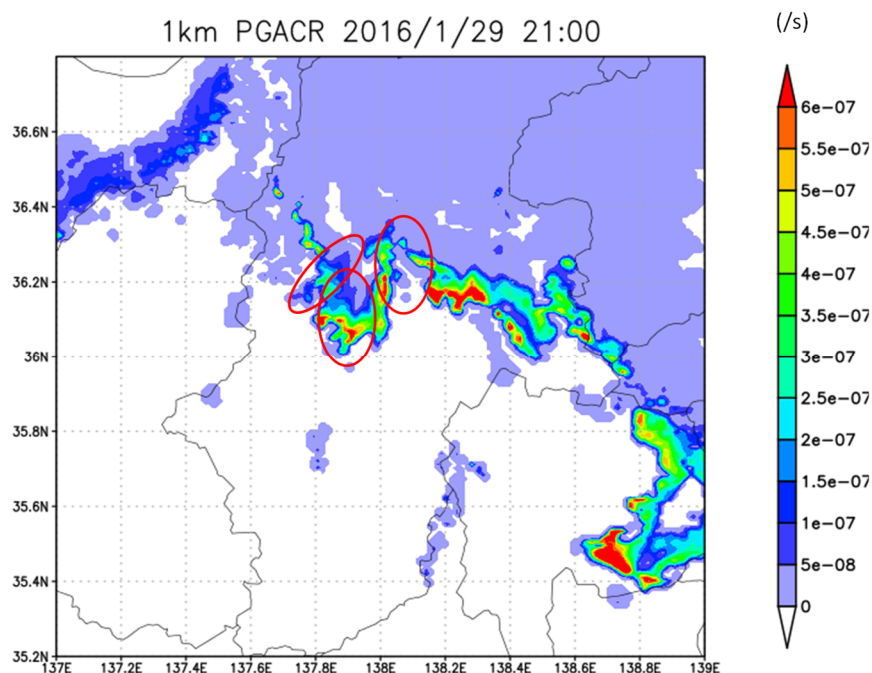


図 5.8 長野県での PGACR の分布図。シェードは生成量(/s), モデル面で 100m の値を示している。赤囲みは雨水害が確認された地域である。

2kmから1kmへのダウンスケールにより地上付近の再冷却層の表現が可能となった。およそ400～600mの薄い寒気が逆転層の形成に重要である。また、PGACRを用いることにより雨氷が発生する地域の特定が可能であると考えられ、モデル内のあられと雨の過併合による地上降雨量の減少を加味した上で雨氷の強度や降雨量の推定に活用できるのではないかとと思われる。

## 5. 研究目標の達成状況

- ・農作物に関する凍霜害、森林の雨氷被害を対象として、気象状況と被害との関係性を明らかにする。  
→凍霜害、雨氷害の事例の収集を行い、解析対象の絞り込みを行った。具体的には次の2項目となる。
- ・植生熱収支モデルを用いて凍霜害の発生機構を明らかにする。→熱収支モデルの整備を行った。アメダスや長野県保有の実測気象データを入力して、凍霜害の発生機構を明らかにする点は、当初、入力する放射データの推定などに手間取ったが、実行できた。植生熱収支モデルにより、霜の発生を再現できることを確認し、下向き長波放射に霜の発生が敏感に応答することを示すことができた。
- ・数値モデルにより、雨氷をもたらす大気場の特徴を示し、寒気の由来を明らかにする。→2016年1月29日の雨氷を対象とした大気場の解析と寒気の由来を定量的に評価した。この点は目標を上回る成果を上げた。さらに、雨氷の発生域について、雲物理パラメータに着目することで予測につながる知見をえたことは、目標を大きく上回る成果を上げた。
- ・週間アンサンブル予報から、確率情報をつけた凍霜害、雨氷発生の中短期リスク情報を作成する。  
→確率的な危険度情報のサンプルを提供でき、目標を大きく上回る成果を上げた。
- ・開発した凍霜害、雨氷発生リスク情報提供手法について、ユーザーを通じた試行と改良を加え、その成果とツールのプロトタイプをクラウド上で公開する。→ユーザーが必要とする情報を目指すうえで、長野県農業試験場・気象庁気候情報課のみならず福島県果樹試験場を加えた関係者の聞き取りとニーズ調査を実施して、目標を上回る成果を上げた。ツールとプロトタイプに関しては、凍霜害の危険度情報のサンプルを作成したものの公開には至らなかった。

## 6. 引用文献

- 1) Yamazaki, T. H. Yabuki, Y. Ishii, T. Ohta and T. Ohata, 2004: Water and Energy Exchanges at Forests and a Grassland in Eastern Siberia Evaluated using a One-dimensional Land Surface Model. *J. Hydrometeorology*, **5**, 504-515.
- 2) 鎌田慈, 宍戸真也, 遠藤徹, 飯倉茂弘, 2008: 架線着霜現象の解明と発生予測手法の検討, 鉄道総研報告, 第22巻, 第1号, 5-10.
- 3) 鎌田慈, 宍戸真也, 根津一, 2018: 簡易な架線着霜予測手法—架線着霜による被害と岐阜県中津川における検証—, 雪氷, **80**, 427-440.
- 4) 近藤純正, 2019: <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke185.html> など (2022.3.31閲覧確認) .



## Ⅱ－6 温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準情報の作成

信州大学工学部

建築学科 中谷 岳史

建築学科 高木 直樹

電子情報システム工学科 小林 一樹

東京理科大学工学部

電気工学科 前田 慶博

### 【要旨】

温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準情報を作成する為、学校を対象に実態調査を行った。教室では温熱環境計測と主観申告調査を行い、暑熱ストレス水準と冷房機器の運用実態を調査した。その結果、断熱性能、日射遮蔽性能の低い建物では、室内温熱環境が熱中症リスクの高い水準になる場面があること、着衣調節は熱的快適性の調節で行われ、30℃近辺では下限値に達していることが確認された。生徒の要望する温熱環境を教員が予測することは難しいこと、生徒は滞在する温熱環境を“今のままでよい”と回答する割合が多いことが明らかになった。また人体熱モデルの解析では、熱中症リスクの高い温度水準でも温熱知覚は“温かい-暑い”相当であり、極端な熱的不快を感じない可能性が示唆された。熱中症判断基準は、WBGT (ISO 7243) と受容範囲 (ISO 17772-2) の2指標が熱ストレスの実態を反映しており、運用しやすいことから推奨される。

長野市の地方気象台観測所と公立小学校の外気温度を収集して線形回帰を行い、有意な線形式が得られた。標高差が100mは空気温度差が-1℃に相当する傾向が得られた。熱中症予防情報サイトに用いられる長野地方気象台観測所は、長野中心市街地の学校よりも標高が高いことが多い。標高差による温度差補正を行わなければ、各学校の熱中症リスクと異なる情報になることが示唆された。また学校の校庭のWBGT分布を調査した。建物を北、校庭を南に配置した条件では、校庭中央より建物南側近傍の熱中症リスクが高くなる傾向が得られた。建物形状や方角によっては、建物反射の短波成分が合成されて校舎近傍にホットスポットが生じる可能性がある。

教室の熱中症リスクを計測して情報を表示する装置を開発した。WBGT (ISO 7243) と受容範囲 (ISO 17772-2) の2種類の表示機器を開発した。WBGT (ISO 7243) タイプを教室に設置したところ、教員も生徒も温熱環境に意識が向き、教員と生徒のコミュニケーションが促された。

気候変動による学校建築の影響を検討する為、将来予測データをEPW形式に変換して、建物熱解析を行った。解析地点は長野県長野市の一地点である。温暖化の影響を受けて、暑熱側の熱的不快を感じる積算時間が今後増加すること、冷房消費エネルギーが増大して暖房消費エネルギーが減少することが予測された。今後、学校を改修する際、屋根と開口部の断熱性能の向上、開口部の日射遮蔽性能の向上が有効であることが示唆された。

### 1. 研究開発目的

気候変動の建築部門に及ぼす影響の一つとして、熱中症リスクが高くなることが挙げられる。特に学校建築では、成長途中の子供が対象であり、日中に学校の教室や校庭に滞在する。熱中症リスクの生じる場면을明らかにして、学校関係者の温熱環境の運用管理に活用される学術的知見や情報提示装置を研究開発することが目的である。

### 2. 研究目標

学校における教室内および屋外の温熱環境計測と人体熱モデルの解析から、学校側が判断できる熱中症判断基準情報を作成する。また教室内の熱中症リスク回避と冷房運転に伴う学校の電力供給限界をあわせて判断できるようなツールと教室内での熱中症リスクを自発的に回避する為のデバイスを開発する。

### 3. 研究開発内容

#### 3. 1 室内温熱環境

高校教室の室内温熱環境を把握する為、長野県長野市の高校一校を対象に夏季の実測調査を行った。測定項目は温熱環境と主観申告である。アンケート調査で着衣の状態を確認した。2017年と2018年の夏に行い、生徒80名から539申告を得た。測定データから、熱的快適性の授業範囲を算出した。また室内作用温度と着衣量の関係を分析し、体温調節行動の適応限界を検討した。

また小学校教室の室内温熱環境と主観申告の実態調査を行う為、日本の長野県長野市の小学校一校を対象に実施した。長野県長野市はKöppenの気候区分でhumid subtropical climate(Cfa)に属し、日本の省エネルギー区分では準寒冷地に位置付けられる。調査は2019年6月17日～2019年7月18日までの夏季に行った。学校敷地は18,590m<sup>2</sup>であり、建築面積は10,104m<sup>2</sup>である。構造は鉄筋コンクリート造3階建(一部4階建)である。建設年は昭和47年であり、平成26年に東校舎の新築工事が開始し平成27年に完成した。生徒は1年生から6年生まで合計713名が在籍していた(2020年4月7日時点)。室内温熱環境の測定は、熱的快適性に関係する環境側要因として、空気温度と相対湿度、黒球温度、そして風速の4項目の測定を行った。機器の高さは1100mmに設定した。測定機器は、教室を4等分しそれぞれ壁や窓から1m以上離れた4か所に設置した。人体側要因は、代謝量は椅子座軽作業として扱い、着衣量は調査員が目視で判定した。測定データから、熱的快適性の受容範囲と熱中症リスクに関係する温熱指標を算出した。熱的快適性関連の指標として自然通風環境における受容範囲(ISO 17772)、熱中症リスクに関連する指標としてWBGT(ISO 7243)とTwo-node modelを算出した。受容範囲とWBGTでは、教室内の温熱環境が受容範囲内もしくは警戒水準以下に含まれる割合に着目し、Two-node modelは人体熱モデルによって熱中症の危険水準を解析的に検討した。以上により温熱環境と暑熱感の主観評価による児童の熱中症判断基準を検討した。

なお主観申告とあわせてバイタルサインの取得を計画していた。しかし現場関係者の同意が得られず実施できなかった。また新型コロナウイルス感染症の影響で、保育園、中学校の調査を実施できなかった。その為、人体熱モデルによる解析を追加した。

#### 3. 2 屋外環境

小学校校庭の屋外環境の熱中症予防の観点から、長野市地方気象台の公開データ(以下、気象台データ)を任意地点のリスク判定に用いる妥当性の確認と、小学校校庭の熱中症リスクの分布を実測した。長野県長野市の気象データは、長野市地方気象台(標高418m)の観測値である。気象台データを基準とし、長野市内効率小学校46校に設置された百葉箱の空気温度データと比較して温度差を求めた(図6.1)。対象期間は2019年7月～8月である。標高と温度差の関連を統計分析した。

小学校校庭の温熱環境計測は、長野県長野市の公立小学校一校を対象に行った(標高351m)。校舎が北側、校庭が南側に配置されており、教室の日射取得を重視した一般的な建物配置である。調査日は2020年8月18日であり、雲量は1～3の晴天日であった。計測項目を表6.1に示す。空気温度や黒球温度、自然湿球温度や放射計など、熱中症リスクの指標であるWBGTに関連する項目を計測した。測定高さは地上1.1mである。校舎中央を基点として、北から南に向けて校庭中央まで計測地点を配置した(図6.2)。建物近傍は放射成分の合成による影響が予測されたことから、計測間隔を密に配置した。計測データからWBGTを推定し、校庭空間の熱中症リスクの分布を求めた。

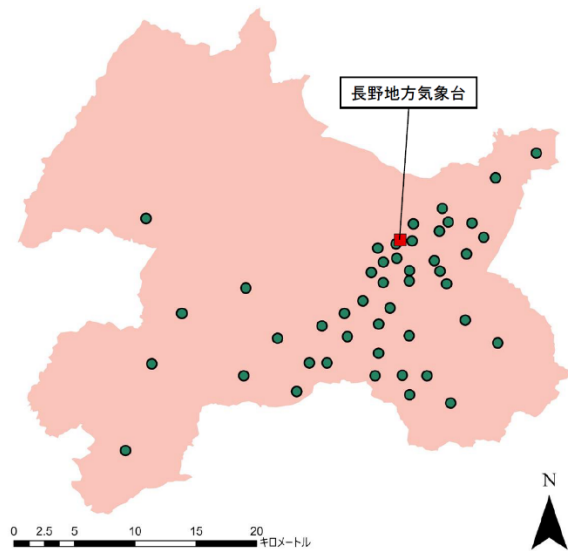


図6.1 長野地方気象台と各小学校の広域図

表6.1 計測項目

| 計測方法 | 計測項目        | 計測機器      | メーカー・型式              | 分解能                | 計測誤差  |
|------|-------------|-----------|----------------------|--------------------|-------|
| 定点測定 | 乾球温度        | 温度ロガー＋百葉箱 | T&D・TR-72wf          | 0.1℃               | ±0.5℃ |
|      | 湿球温度        | 熱電対       | 太陽計器・T型熱電対           | 0.1℃               | ±0.5℃ |
|      | グローブ温度      | 熱電対＋ピンポン球 | 太陽計器・T型熱電対           | 0.1℃               | ±0.5℃ |
| 移動計測 | 風速          | 熱式風速計     | KANOMAX・Model6501-B0 | 0.01 m/s           | ±2%   |
|      | 長短波長放射量     | 4成分放射計    | Climatec・CHF-HR01    | 1 W/m <sup>2</sup> | ±2%   |
|      | 直達日射量       |           |                      |                    |       |
|      | 地面・校舎壁面表面温度 | 放射温度センサ   | キーエンス・FT-H20         | 0.1℃               | ±0.5℃ |



図6.2 校舎校庭の計測地点

3. 2 健康リスク伝達のための表示デバイス開発

健康リスクの伝達を行うために2つの表示デバイスの開発を行った。1つは、WBGT(ISO 7243)に基づいた熱中症リスクを軽減するための穏やかな情報通知デバイスであり、実際に小学校の教室において運用実験を実施した。もう1つは、外気温度の履歴を説明変数にした受容範囲(ISO 17772-1)に基づく指標表示デバイスであり、家庭で手軽に運用できる小型の機器を開発した。

図6.3に開発した熱中症リスクを軽減するための穏やかな情報通知デバイスを示す。開発したデバイスは、長さ4メートルで240個のフルカラーLEDで校正されるLEDバー、制御用マイコン（Raspberry Pi Zero W）、黒球付温度センサを備えるBluetooth温湿度計、LED点灯用大容量電源、電源オンオフタイマーから構成される。温湿度計の黒球は直径80mmのオーナメントボールに放射率0.94の黒体スプレーを塗布して作成した。電源オンオフタイマーは、夜間や休日にLEDを自動で消灯するために使用した。マイコンは常時動作させ、温湿度と熱中症指数値を10分間隔で記録する。LEDバーは、小学校の教室の黒板の上に設置することを前提に設計を行った。

図6.4に熱中症指数の時系列LED表現の例を示す。熱中症指数は、10分間隔で取得している黒球温度と湿度からその都度計算し、LEDの色と点灯個数によって表現する。1つの熱中症指数の表現方法を図3に示す。LEDは色の区別を容易にするために5色のみを採用し、各色はLED1個～7個を点灯させることで

0.5刻みの熱中症指数を表現することができる。各指数の間は消灯したLEDを挟むことで区別される。たとえば、図6.5に示すように、LEDバーでは最も左側が最新の熱中症指数を表すLED表現であり、LEDの消灯を1つ挟んで10分前のもの、20分前のものといった形式で表示される。表現内容に依存するが、LEDバー全体で約6時間から20時間分の時系列表現が可能である。熱中症指数が31を越えたときには、LEDバー全体が赤色に点滅するように設計し、確実に危険であることを伝達する。

図6.6に受容限界予測に基づく指標表示デバイスを示す。このデバイスは、ISO177201:2017に基づいて快適温度を算出し、現在の室温との差異と、受容限界カテゴリを表示する。受容限界を算出するにあたり、インターネット経由で過去1週間分の外気温を気象台のサイトから自動的に取得する。その上で、室内に設置したBluetooth温度計から室温を取得し、ISO1772-1:2017の手法に基づいて快適温度を算出する。その快適温度と現在の温度との差異を求め、これを同手法で示されるカテゴリ（Cat. I, Cat. II, Cat. IIIの順で快適温度との差異が小さい）に分類してそのカテゴリ名を表示する。これらの計算は10分ごとに自動的に更新し、デバイスに搭載した3色電子ペーパーに表示される。表示内容は図4に示すように、現在日時、快適温度を上回るか下回るか（OVER or UNDERの表示）、何℃の差異があるか、カテゴリ名、現在室温、IPアドレス（メンテナンス用）、過去のカテゴリを数値化したグラフである。電子ペーパーを採用したことで、更新時以外は電力が消費されない省電力な運用が可能である。サイズは7.6cm × 3.5cm × 1.6cmと非常にコンパクトである。

なお教室内温度の連続計測アプリケーションに関しては、当初開発予定であったが、小学校校長へのヒアリングで各教室の消費電力把握は必要ないとの意見があった。そこで、市販製品を調査したところ、教室内温度の連続計測については、安価なBluetooth温湿度計と、それに属するスマートフォンアプリケーションで対応可能であることが判明したため、独自アプリケーションの開発は実施しなかった。

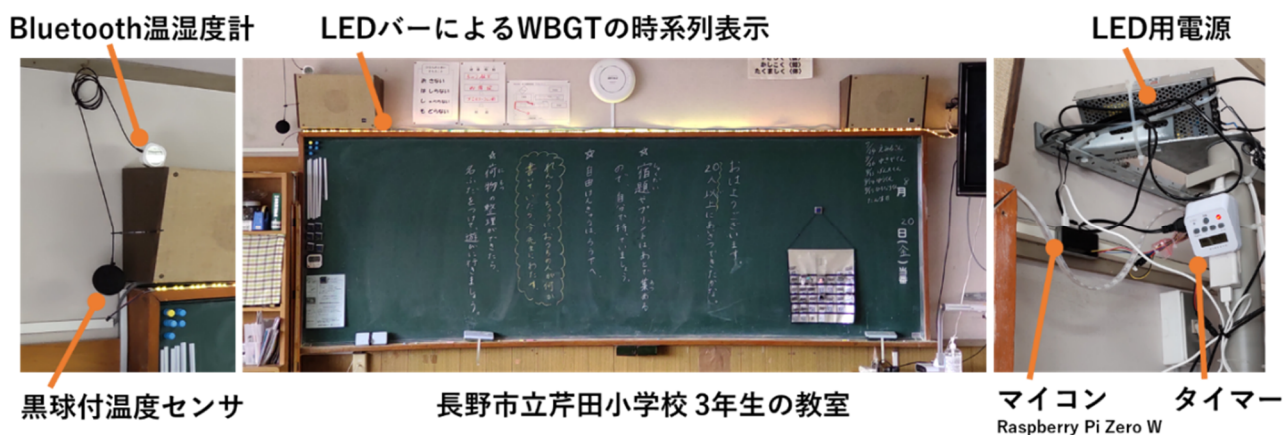


図6.3 熱中症リスクを軽減するための穏やかな情報通知デバイス

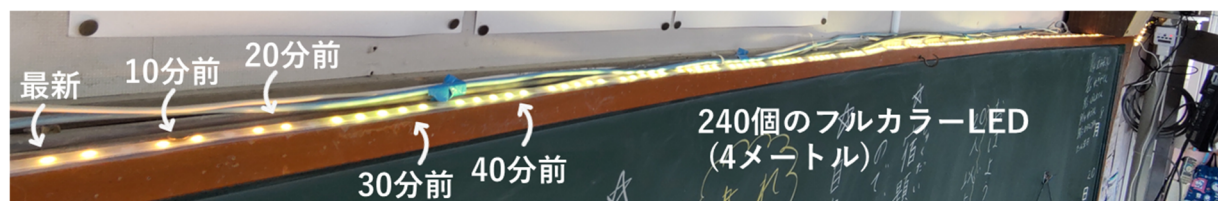


図6.4 熱中症指数の時系列LED表現

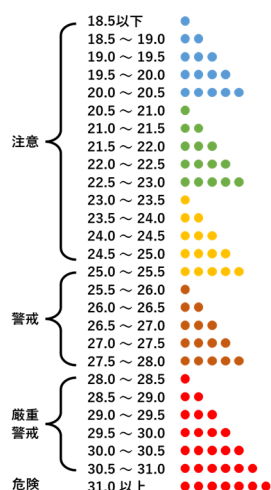


図6.5 熱中症指数の値とLED表現  
の対応関係



マイコン(WiFi&BT内蔵) Raspberry Pi Zero W  
3色電子ペーパー

図6.6 受容範囲(ISO 17772-1)  
の指標表示デバイス

### 3. 3 建物熱解析

地球温暖化による建物の室内温熱環境の影響を検討する為、将来予測データを建築熱解析用気象データ形式に変換し、非定常多数室の建物熱解析によって教室内の熱ストレスや空調負荷を分析した。将来予測データはmeteonormを用いた。CMIP5の全球気候モデルを用い、空間補間と確率処理によって時間解像度1時間の気象データを10年毎に生成する。今回は長野県長野市のTMYと2020～2050年の近未来を対象にした。建物モデルは Rhinoceros 6で作成し、Grasshopperを通じてHoneybeeに指令をだし、EnergyPlusで建物熱解析を行った。対象建物は3. 1の実態調査で対象にした小学校である(図6.7)。夏期において熱的負荷が高いと考えられる最上階のクラスを解析対象とした。計算手順を図6.8に示す。解析期間は1年間であり、気候データはRCP 2.6シナリオ及びRCP 8.5シナリオを用いた。空調は2条件を行い、建物自体の性能を評価する為の空調を行わない自然状態と、在室時間帯を22～26℃の範囲に制御する状態で行った。校舎の熱物性は、建物の断熱改修を想定して屋根と窓を対象にした。屋根は防水工事の際に断熱防水を行うこと、窓は交換や増設によって対応が行いやすいことから部位を選定した。屋根の断熱材厚さ、窓の日射取得率 (SHGC) そして窓の熱貫流率 (U-value) を可変パラメータとして設定した。屋根の断熱性能は3段階、窓は5段階の日射取得率、6段階の熱貫流率である。計算条件は90ケースである。

新型コロナウイルス感染症の影響で保育園、中学校の調査を実施できず、調査リソースに余力が生じたことから、建物熱解析を追加実施した。サブグループ間で将来予測データを共有し、気候変動が学校建築に健康リスクや熱的快適性、エネルギー消費に及ぼす影響の検討に一部着手した。

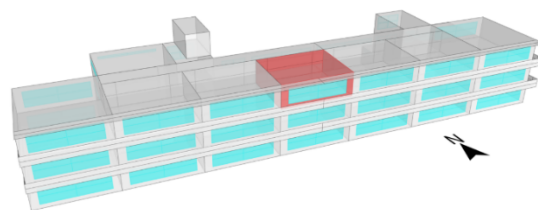
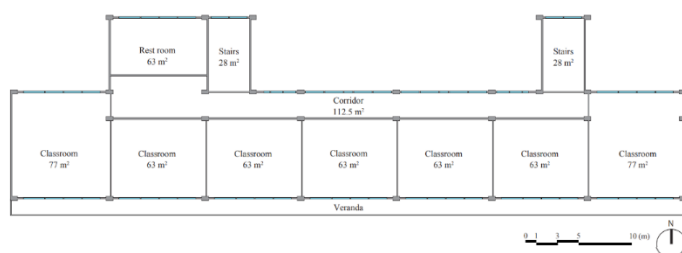
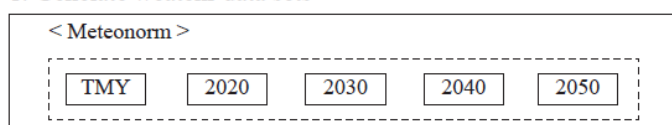


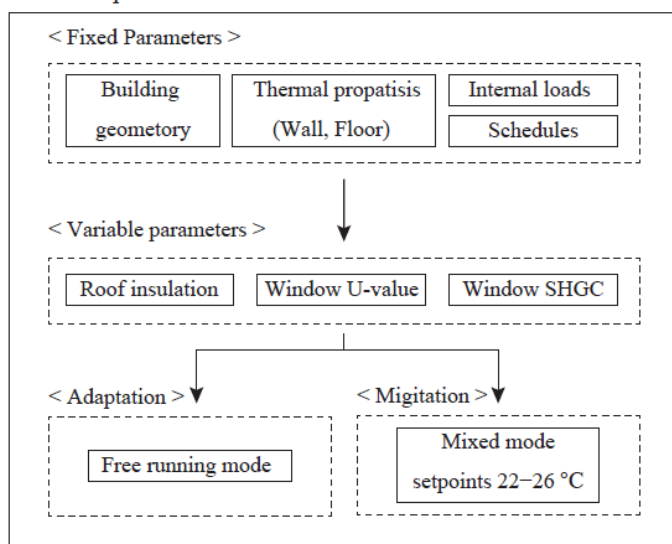
図6.7 建築熱解析の対象建物の平面図と建物モデル



## 1. Generate weather data sets



## 2. Development simulation models



## 3. Analysis

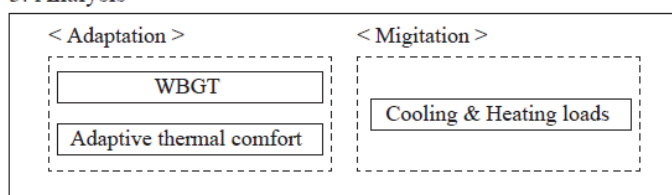


図6.8 計算手順

## 4. 結果及び考察

### 4. 1 室内温熱環境

長野県長野市の高校を対象に、温熱環境と主観申告調査を行った。対象建物は築60年のコンクリート造であり、断熱されていない。また開口部は単板ガラス、アルミサッシであり、断熱性能と日射遮蔽性能はともに低い。調査を行った段階では冷房設備が導入されておらず、自然室温であった。室内作用温度と温冷感申告から中立温度と受容範囲を推定した。空調設定温度の目安になる中立温度25.9℃、80%の生徒が受容する温度範囲は23.3～28.5℃であった。過去の既往研究と同程度の水準であった。また生徒の大部分は教室の温熱環境を許容していた。

2017年8月～10月までの教室の温湿度を空気線図(図6.9)にプロットした。横軸に室内作用温度、縦軸に絶対湿度、斜めに相対湿度のラインが配置される。実線・点線の周辺のプロットは第二次世界大戦中の熱中症によるアメリカ軍兵士の死亡が発生した温熱環境である。点線は等35ET\*線である。人体熱モデルのtwo-nodeモデルで体感温度ET\*を計算することができ、ASHRAE fundamentalでは35ET\*を熱中症危険閾値として扱っている。近傍の太実線は28 WBGT線である。日本では生気象学会やスポーツ学会で熱中症リスクの指標としてWBGTが用いられており、WBGT28℃を熱中症リスクの閾値として扱うことを推奨する。長野は準寒冷地に位置する為、9、10月の気温は低い。一方で晴天率が高く、夏季の最高気温は高い。空気線図で確認すると、熱中症発生が懸念される温度分布があり、注意が必要であることが示された。

また教室の室内温熱環境と生徒の着衣量の関係を図6.10に示す。Boltzmann曲線で近似した。説明変数は室内作用温度、目的変数は着衣熱抵抗(clo)である。暑熱ストレス環境下において、薄着は一般的な適応である。一般的に体温は環境温度より高い為、熱抵抗である着衣を減らすことで、人体から環境の熱移動を促進することが期待される。図では20～30℃にかけて着衣熱抵抗が減少し、30℃近辺で下限に達する。受容範囲の調節、つまり熱的快適性を維持するために服の調節が行われており、30℃近辺では薄着による体温調節はできないことが確認できる。学校の授業中、生徒は熱ストレスに対して受動的な存在であり、体温調節行動は薄着に限定され、影響を受けやすい状態である。設備機器として冷房を使用すること、また中長期的に建物の断熱性能、日射遮蔽性能を向上して熱負荷を減らす建築的工夫が求められる。

長野県長野市の小学校を対象に、教室の温熱環境と主観申告調査を行った。また2019年夏に教室内の温度分布を計測した。建物はコンクリート製で無断熱であり、開口部は単板ガラス、アルミサッシである。各教室に冷房設備が導入されており、教員の判断でエアコンを動かし、教室の温熱環境を調節していた。教員と生徒の温熱感覚の相互認識を明らかにする為、各学年に対して次の温熱感覚についてアンケート調査を行った。温熱感覚は選好感申告であり、今の温度でよい、温度をかえたいか、で質問した。

- ・ 男子生徒が自分の温熱感覚を回答
- ・ 女子生徒が自分の温熱感覚を回答
- ・ 教員が生徒の温熱感覚を予想して回答

図6.11に結果を示す。説明変数は室内作用温度、縦軸は「今の温度でよい」と答えた割合である。温熱ストレスの観点では、教室の室内作用温度が高くなると「温度をかえたい」と考えて、冷房をつける行動につながるはずである。図を見ると、各学年の生徒は「今の温度でよい」と答えた割合が横ばいであり、熱ストレスに対応していない。また低学年より高学年では「今の温度でよい」と答えた割合が高い。一方教員の予想では、教室が暑くなると「今の温度でよい」と回答する割合は下がると考える教員が多いこと、また生徒の温熱感覚を予想できていないことが確認された。

図6.12に2021年8月11日13時の教室のWBGT分布を示す。なお夏季休業中で冷房をつけておらず、自然室温である。平面図であり、教室上側が廊下、下側が開口部であり、教室左側に黒板や教卓がある。教員の滞在空間は約33.5℃であるのに対し、南側開口部付近では約35.5℃であった。

学校では各教室に冷房が配備され、温熱環境の調節は教員の役割である。教員は生徒の温熱ストレスを予想できていなかった。また授業中に教員が滞在する空間より開口部近辺は熱く、一部の生徒の熱中

症リスクを見落としやすい状況であることが伺える。教員は生徒と年齢や体格が異なり、教員は立位歩行で生徒は椅子座軽作業で代謝量も異なる。感覚による調節は非常に難しく、教室に熱ストレスの目安になる測定機器を配置し、教員の冷房の調節を支援することが望ましい。

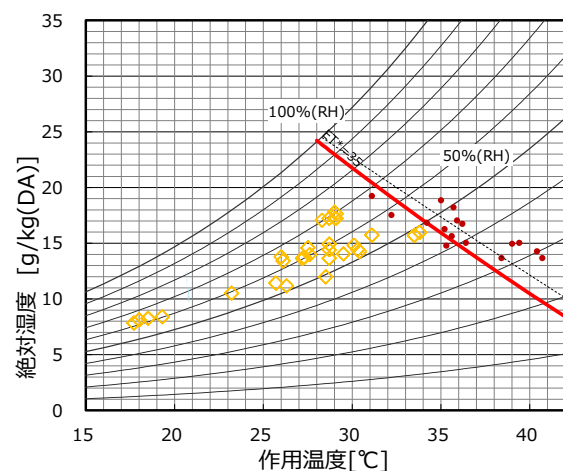


図6.9 空気線図における体感温度とWBGT,

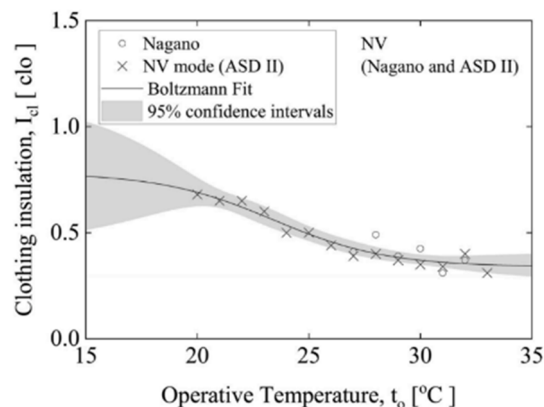


Fig. 12. Logistic regression of the median of clothing insulation vs. operative temperature in Nagano and based on the NV data from ASD II.

図6.10 教室における室内作用温度と着衣量の関係

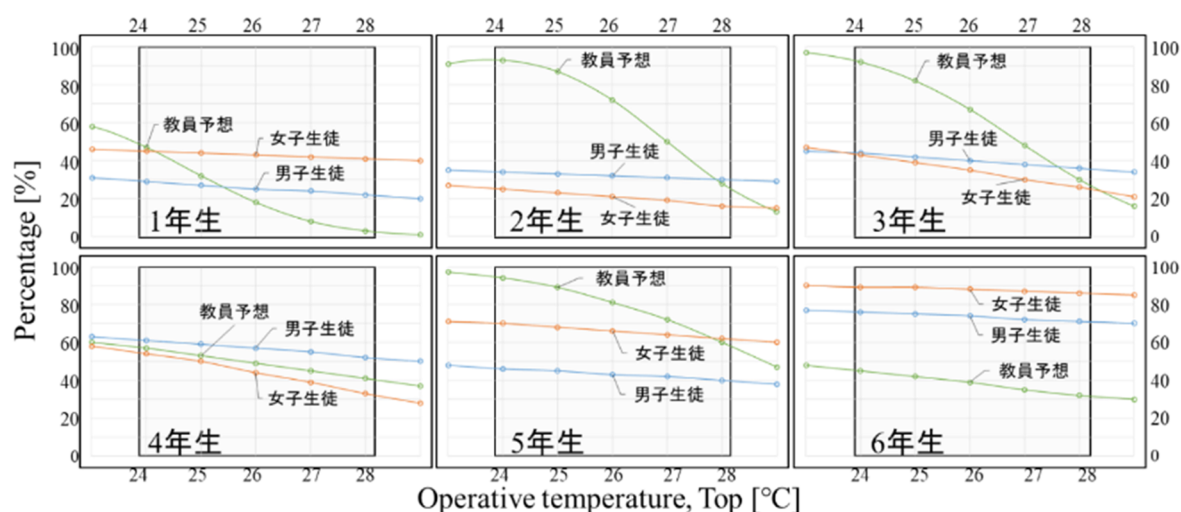


図6.11 教室の室内作用温度と選好感で今のままでよいを選択した割合

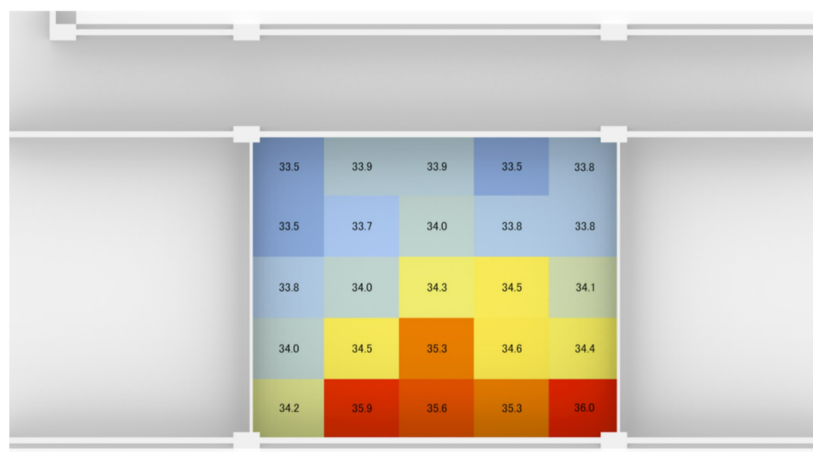


図6.12 教室のWBGT分布

小学校の各学年の温熱感覚を検討する為、人体熱モデルによる解析を行った。人体熱モデルは two-node model を採用した。人体形状を単純化し、体感温度( $ET^*$ )や皮膚表面温度( $T_{sk}$ )、また皮膚表面温度に対応する温熱感覚などを推定できる。プログラムコード中の人体物性値のうち、学年の特徴を反映できる要因を調整した。身長、体重は長野県学校保健統計調査の平均的データを参照し、基礎代謝量は国立健康栄養研究所のデータを用いた。計算時間は180分で計算した。

計算結果を図 6.13 に示す。グレーのプロットが解析値、黒のプロットは測定した温度範囲の解析値である。横軸は体感温度( $ET^*$ )、縦軸は皮膚表面温度( $T_{sk}$ )と対応する温熱感覚である。体感温度が高くなると皮膚表面温度が高くなり、温熱感覚も暑い側に表現される。体感温度が  $30^{\circ}\text{C}$  を超えると血流量増加による放熱と発汗による潜熱消費が始まる為、皮膚表面温度の温度勾配は小さくなる。学年毎の傾向の差は確認できなかった。これらの温度調節によって高温環境に適応できる。

解析結果による限定的な示唆ではあるけれど、症リスクが高まる  $35\ ET^*$  ( $\approx 28\ \text{WBGT}$ ) でも温冷感は「温かい」と「暑い」の周辺である。熱中症のリスクが高まる温熱環境でも一定時間滞在することが可能であり、皮膚表面温度の温度変化は小さく、温熱感覚も極端な暑さを知覚するまでは至っていない。教室における熱中症リスクを判断する際、生徒の温熱感覚や自己申告に期待するのではなく、室内気温、できれば WBGT による判断が望ましい。

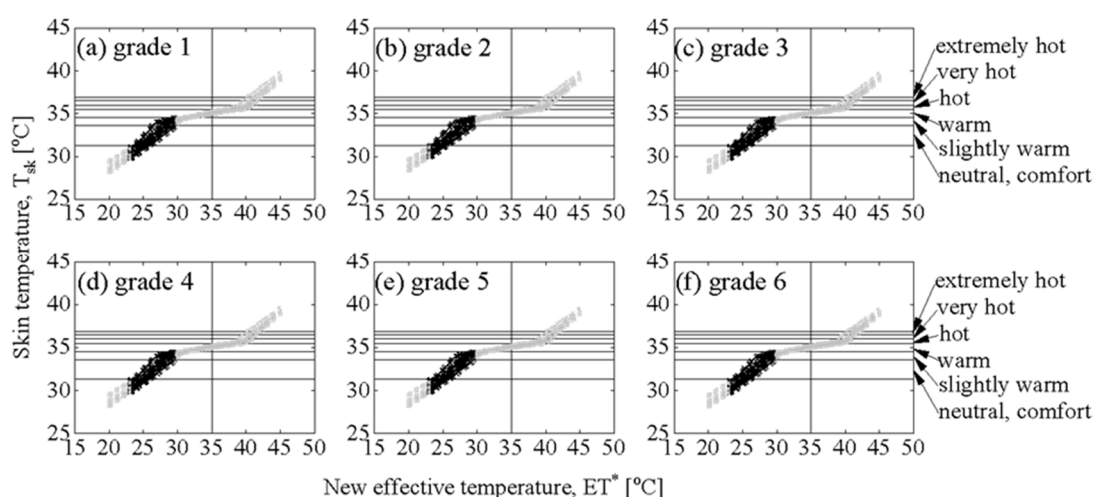


図6.13 人体熱モデルによる体感温度と皮膚温度、温熱感覚の相互関係

#### 4. 2 屋外環境

気象台データと小学校データの気温差(小学校の気温-気象台の気温)と、気象台と各小学校の標高差(小学校の標高-気象台の標高)をプロットし、それを基に回帰直線を求めた。小学校の活動時間帯である 9 時～15 時の時間毎の空気温度を分析対象にした。説明変数に標高差(x: 小学校の標高 - 気象台の標高, m), 目的変数に温度差(y: 小学校百葉箱の空気温度 - 気象台の空気温度, °C)を与え, 線形回帰分析を行った。統計的に有意な式が得られた。回帰係数は - 0.01 であり, 標高差 100m で 1°C の温度差が生じることが示された。

$$y = -0.012x + 0.401 \quad (R^2=0.83, p<0.05)$$

次に標高差と温度差の関係式を用い, 長野市の広域地図に推定温度差をプロットした(図 6.14)。長野市内の東側の地域や、多くの小学校が、気象台の観測気温よりも高い気温となった。これは、長野市内の市街地の多くが東側の盆地に位置し、気象台が丘陵地に立地していることが、原因と考えられる。熱中症リスクの観点において、多くの市街地と小学校は、長野地方気象台よりも気温が高く、熱中症のリスクが高いことが予測される。そのため、長野地方気象台の観測値を基に算出した WBGT を熱中症予防対策に用いると、実際の環境は気象台よりも熱中症になりやすい環境となる。そのため、気象台観測値による WBGT などのデータを基に熱中症リスクを認識し、教師が児童の指導を行うと、児童らを危険な環境の中で活動を行わせてしまう可能性がある。

以上のことから、気象台の観測値を長野市全域に適用するのではなく、実際の環境で観測を行ったデータを基に教師や児童らに熱中症のリスクを伝えることが望ましい。

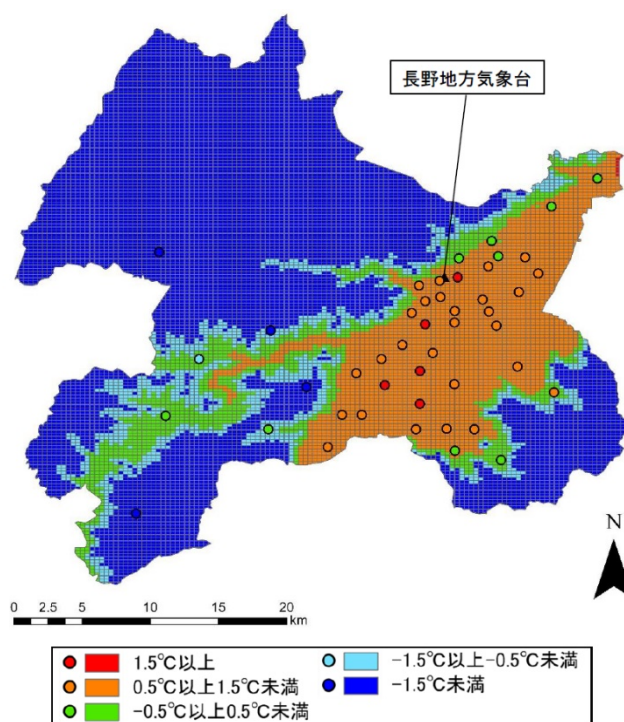


図6.14 気象台と各地点の標高差から推定した温度差分布



各時間の WBGT の実測値と校舎からの距離の関係を図 6.15 に示す。どの時間帯も校舎近傍が校庭中心よりも WBGT が高かった。一日を通して最も気温の高かった 14:00 の結果を見ると、最も WBGT が高かった校舎近傍で 33.8 °C、校庭の中心の 40 m 地点で 29.0 °C と 4.8 °C の差が見られた。図 6.16 に概念図を示す。校舎近傍は、直達日射、地面反射、天空反射に加えて、建物からの反射が合成される為、熱中症リスクが高くなる。熱中症予防運動指針(日本スポーツ協会)では WBGT を用いて 28~31°C を厳重警戒(激しい運動の禁止)、31°C 以上を危険(原則運動禁止)と定義している。WBGT33.8°C は危険、WBGT29.0°C は厳重警戒であり、1 段階の差がある。同一敷地の校庭でも熱中症リスクは異なること、また学校関係者のヒアリングでは校庭中央が最も暑いと思われており校舎近傍の熱中症リスクが認識されていなかった。なお測定日の環境省熱中症予防情報サイトの WBGT 実況値は 9 時~15 時まで 27.7~28.5°C であり、終日 WBGT は 28°C 付近の予測であった。今回の校庭の WBGT の実測結果では、1 段階から 2 段階ほど情報サイトの予測よりも熱中症リスクが高かった。气象台観測所と対象建物の標高差が異なるときは、携帯型 WBGT を持参して活動領域を計測することが望ましい。

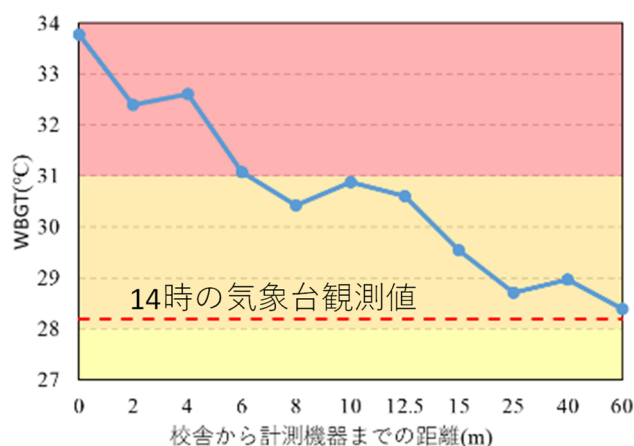


図6.15 小学校校庭におけるWBGT分布

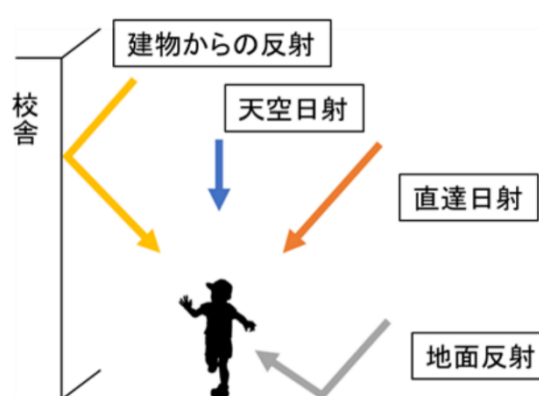


図6.16 校舎近傍の日射短波成分の概念図

#### 4. 3 健康リスク伝達のための表示デバイス開発

熱中症リスクを軽減するための穏やかな情報通知デバイスに関しては、2021年8月20日から2022年3月1日現在まで、長野県長野市立芹田小学校3年生の教室で実際に運用を行った。事前に学校長と担任教員と相談し、学級の活動に影響を与えにくい明るさに調整した。運用から1ヶ月後の9月29日に担任教員にヒアリングを行った。代表的意見は次の通りである。

▽教員の行動変化について

- ・ 自分が暑くないときでも子供たちの暑さを気にするようになった。
- ・ 黄色くなったらエアコンや扇風機を入れた。
- ・ 朝教室に来たときにLEDがオレンジ色だった場合にはすぐに窓をあけて、朝からエアコンを入れたりした
- ・ 今までは温度計をみながらエアコンや扇風機のオンオフを決めていたが、ぱっと見て温度が確認しにくい。LEDはパッと見て分かりやすい。

▽生徒たちの行動について

- ・ 初日にどういう理由でついているのか聞かれた。
- ・ 暑くなりそうときへの反応が大きい。オレンジが多くなってくると子供たちも色々言うてくる。
- ・ 曇りや晴れでもあまりLED明るさは気にならない様子。

その結果、担任教員からの意見では、概ね肯定的な評価を得た。LEDによる表示をきっかけとして、生徒たちの暑さを気にするようになり、色を確認してエアコンを入れるタイミングを決めていることが分かった。さらに、時系列情報により、夜間の室温が高かった場合の窓開けやエアコン稼働といった行動が促されており、開発したデバイスの行動誘導の効果が示唆される。生徒たちについても、時系列の変化をみて室温を気にするようになっており、環境変化に対する意識を高める効果が示唆される。

一方で、集中できていない生徒はLEDをばーっと見てしまう問題や、教室デザインの観点から可能な限り黒板の周辺に注意を引くようなものは配置しないという方針に反している問題が挙げられる。たとえば、休み時間のときだけLEDを点灯させ、授業時間中は消灯するといった工夫が考えられる。また、過去の情報表示を削減すれば、コンパクトなサイズにすることができる。今回の設計では、色の濃淡で表現する方法は離れた場所から区別しにくいために、少ない色数で、LED点灯個数で区別させる方式を採用することで0.5刻みでの熱中症指数の表現を可能としたが、より荒い度数表示でも十分である可能性がある。

ISO 17772に基づく受容限界予測の指標表示デバイスについては、非常にコンパクトであり、上記の問題を解消できる可能性がある。特に受容限界温度との差異を表示するため、数値表現であっても基準が明確で解釈しやすい。今後、比較実験を行うことで、両デバイスの特性をより明確にするとともに、どのような場面で有効かを特定して、教育現場で使いやすい設計としていく。

#### 4. 4 建物熱解析

冷暖房を行わない自然室温の計算結果を ISO17772 の熱的快適性の受容範囲で判定した。図 6. 17a は受容範囲の積算時間の推移、図 6. 17b に受容範囲を超過して暑熱ストレスを感じる積算時間、図 6. 17c に受容範囲を下回り寒冷ストレスを感じる積算時間の推移を示す。各年代につき、90 条件の計算結果を集計した。横線は、基準年かつ現在の建物性能(屋根断熱無し、単板ガラスかつアルミサッシ、日射遮蔽無し)の計算値である。暑熱ストレスに関する図 a は断熱、日射遮蔽性能を高めることで外気から教室に向けた熱移動が低減し、熱ストレスを感じる時間は減少傾向が示された。一方、寒冷ストレスに関する図 b では、受容範囲を下回る時間が増えており、日射遮蔽性能による日射取得熱の低減が影響したと推察される。日射遮蔽性能は、夏季と冬季でトレードオフの関係になる為、最適化が特に必要な項目である。年代が進むと図 a では暑熱ストレスを感じる積算時間が増加し、図 b では寒冷ストレスを感じる積算時間が減少する。地球温暖化の影響を受けて、夏季の教室の熱的快適性が低下する傾向がある。長期的視点から、断熱性能や日射遮蔽性能を高めることが望ましい。

RCP 8.5 シナリオにおける対象教室の年間冷暖房消費エネルギーの推移予測を示す(図 15)。90 条件の建物モデルについて、単位面積あたりの冷房消費エネルギー及び暖房消費エネルギーを求めた。年代ごとに研究対象とした 90 条件の解析結果を要約した。横線は TMY における現在の建物性能の推定結果であり、横線を下回るデータは改修によって冷房負荷または暖房負荷が現在より削減されることを意味する。図 6. 18a は年間空調消費であり冷房と暖房の合計、図 6. 18b は冷房、図 6. 19c は暖房の消費エネルギーである。年代が進むにつれて、冷房負荷は増加傾向であり、暖房負荷は減少傾向である。暖房負荷の減少幅は冷房負荷の増加幅よりも小さいため、冷房負荷と暖房負荷の合計は、年代が進むにつれて増加傾向になった。学校建築の利用時間帯は日中に限定され、夜間は空調エネルギーを使わない。つまり夏季の冷房エネルギー消費が多く、冬季の暖房エネルギー消費が少なくなりやすい建物種類である。今回は一地点の計算であり限定された知見であるけれど、2030 年以降、冷房負荷が暖房負荷を上回った。地球温暖化が進行した近未来においては、夏季の冷房負荷の削減が重要な課題になることが示唆された。

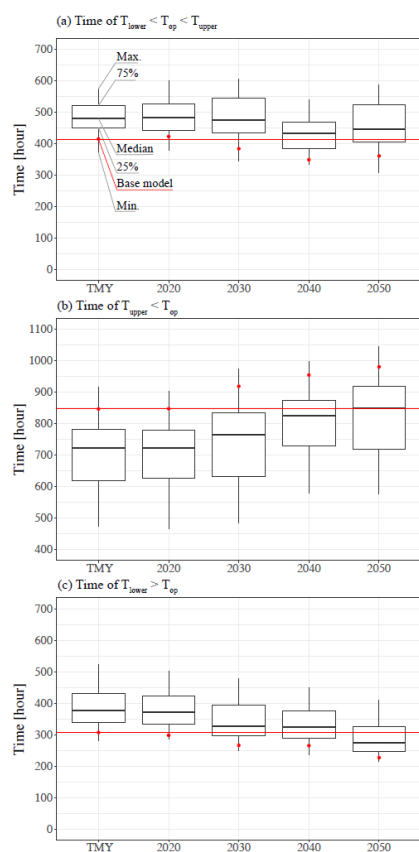


図6.17 受容範囲(ISO 17772-2)による室内温熱環境の判定

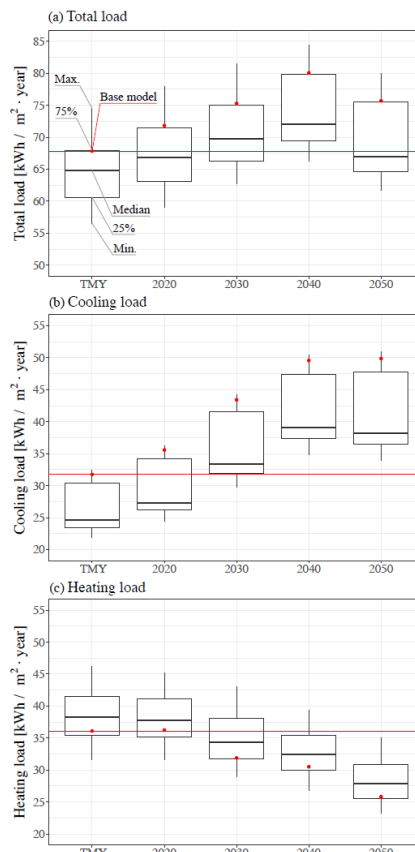


図6.18 消費エネルギー量の年代変化

## 5. 研究目標の達成状況

### 5. 1 室内温熱環境

高校、小学校の室内温熱環境を計測し、温熱環境と暑熱感の主観評価を行い、生徒と管理者の温熱知覚に関する実態調査データをした。バイタルサインの計測を計画していたが、学校側の判断で実施ができなかった。補完する為に人体熱モデルにより体感温度を推定した。また新型コロナウイルス感染症の影響で、保育園と中学校の調査は実施できなかった。以上から研究目標の大部分を達成できた。

### 5. 2 屋外環境

広域の気象台データと各小学校の気温を計測し、標高差の補正の必要性を確認した。あた小学校校庭の屋外環境を計測し、校舎近傍のホットスポットが現れることを示唆した。屋外の熱中症行動判断に必要な情報を取得できた。屋外の主観申告とバイタルデータの計測は、新型コロナウイルス感染症の影響で実施できなかった。以上から研究目標の大部分を達成できた。

### 5. 3 健康リスク伝達のための表示デバイス開発

WBGT (ISO 7243) と受容範囲 (ISO 17772-2) の2指標について、教室の熱中症リスクと熱的快適性を計測して表示するデバイスを開発した。最終年度にWBGTのデバイスを教室で運用し、実装可能であることを確認した。教室内温度の連続計測アプリケーションに関しては、当初開発予定であったが、小学校校長へのヒアリングで各教室の消費電力把握は必要ないとの意見があった。市販製品を調査したところ、教室内温度の連続計測については、安価なBluetooth温湿度計と、それに属するスマートフォンアプリケーションで対応可能であることが判明したため、独自アプリケーションの開発は実施しなかった。また校庭も同様に市販製品で存在した為、独自のシステム開発は実施しなかった。以上から研究目標を達成できた。

### 5. 4 建物熱解析

中学校査が中止になったことで産まれたリソースを将来気候データの建物伝熱解析の基礎開発に割り当てた。計画外ではあるけれど、研究開発目的の学校関係者の温熱環境の運用管理に貢献する研究内容である。

## 6. 引用文献

- (1) Hiroki Ikeda, Takashi Nakaya, Akito Nakagawa, Yoshihiro Maeda: An investigation of indoor thermal environment in semi-cold region in Japan - Validity of thermal predictive indices in Nagano during the summer season, Journal of Building Engineering, 32, 101897, 2020
- (2) Akito Nakagawa, Hiroki Ikeda, Yoshihiro Maeda, Takashi Nakaya: A survey of high school students' clothing in classroom, Journal of Building Engineering, 32, 101469, 2020

### Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

#### (1) 誌上発表

##### <査読付き論文>

##### 【サブテーマ1】

- 1) 高野（竹中）宏平、中尾勝洋、尾関雅章、堀田昌伸、浜田 崇、須賀 丈、大橋春香、平田晶子、石郷岡康史：環境情報科学学術研究論文集、33, 49-54 (2019), 自治体の地域気候変動適応に向けたVelocity of Climate Change (VoCC)の解析.
- 2) 恒川健太、松下通也、高野（竹中）宏平、吉利怜奈、赤松佑紀、杉浦兼之：関西病虫害研究会報、62, 71-77(2020), メッシュ農業気象データシステムを活用したフジコナカイガラムシおよびナシマルカイガラムシの防除適期予測.
- 3) K. IMAMURA, K.T. TAKANO, N.H. KUMAGAI, Y. YOSHIDA, H. YAMANO, M. FUJII, T. NAKASHIZUKA, S. MANAGI: Ecosystem Services, 46, 101166 (2020), Valuation of coral reefs in Japan: Willingness to pay for conservation and the effect of information. (IF:5.454)
- 4) 相原隆貴、小林慧人、高野（竹中）宏平、深澤圭太、中園悦子、尾関雅章、松井哲哉：景観生態学、25(2), 137-146 (2020), 長野県生坂村の無居住化地域における竹林拡大：1977年と2014年の空中写真を用いた比較.
- 5) 平田晶子、高野（竹中）宏平、相原隆貴、中尾勝洋、津山幾太郎、唐勤、松井哲哉、肱岡靖明：環境情報科学論文集、34, 210-215 (2020), 日本の竹林分布に対する気候変動影響評価：拡大リスク増大下での適応にむけて.

##### 【サブテーマ2】

- 1) H. Ikawa, T. Kuwagata, S. Haginoya, Y. Ishigooka, K. Ono, A. Maruyama, H. Sakai, M. Fukuoka, M. Yoshimoto, S. Ishida, C.P. Chen, T. Hasegawa, and T. Watanabe: Boundary-Layer Meteorology, (2021) Heat-Mitigation Effects of Irrigated Rice-Paddy Fields Under Changing Atmospheric Carbon Dioxide Based on a Coupled Atmosphere and Crop Energy-Balance Model. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10546-021-00604-6>

##### 【サブテーマ3】

- 1) K. YAMADA and M. KURIBAYASHI: SOLA, Vol.17A, 45-50 (2021), Topographic Effect on Heavy Rainfall Caused by Typhoon Hagibis (2019) in Nagano, Japan. (IF:2.2)

##### 【サブテーマ4】

- 1) 鈴木皓達、斎藤洋介、浜田崇、川越清樹：土木学会論文集G(環境)、76(5), I\_211-I\_220 (2020), 気候変動適応策に向けた土砂災害警戒区域のリスク情報の開発.
- 2) 川越清樹、佐藤大輝、阿部翼、二瓶茜：地学教育と科学運動、(2022), 令和元年台風19号の被害状況をふまえたEco-DRRへの展開. (印刷中)

##### 【サブテーマ5】

特に記載すべき事項はない

##### 【サブテーマ6】

- 1) H. Ikeda, T. Nakaya, A. Nakagawa and Y. Maeda: Journal of Building Engineering, 32, 101897 (2020), An investigation of indoor thermal environment in semi-cold



region in Japan - Validity of thermal predictive indices in Nagano during the summer season. (accepted, IF=3.379)

- 2) A. Nakagawa, H. Ikeda, Y. Maeda and T. Nakaya : Journal of Building Engineering, 32, 101469 (2020) , A survey of high school students' clothing in classroom. (IF=3.379)

## <その他誌上発表（査読なし）>

### 【サブテーマ 1】

- 1) 浜田 崇：みどりのこえ、59, 2-4 (2019)  
「環境保全研究所に信州気候変動適応センターが設置されました」
- 2) 浜田 崇：会報サン、48, 71-73 (2020)  
「信州気候変動適応センターが設置されました」
- 3) 高野（竹中）宏平、堀田昌伸、浜田 崇、中尾勝洋、平田晶子、松井哲哉：造園修景、143, 8-10 (2020)  
「気候変動の速度（VoCC）と生物生息環境について」
- 4) 浜田 崇：信州の果実、777, 8-12 (2021)  
「長野県における気候変動の現状と将来予測」
- 5) 浜田 崇：くだものニュース、2479, (2021)  
「長野県における気候変動の現状」
- 6) 浜田 崇：エコシン、222, 1 (2021)  
「長野県における気候変動と将来予測」
- 7) 田中 充・馬場健司編：気候変動適応に向けた地域政策と社会実装、技報堂出版社、49-53 (2021)  
「第2章3 信州気候変動適応センターの状況【長野県】（執筆担当：浜田 崇）」
- 8) 浜田 崇：HAKUBAVALLEY 持続可能な山岳リゾートを目指して、8-9 (2022)  
「北アルプスにおける気候変動の実態」「気候変動の影響と適応」
- 9) 栗林正俊、浜田崇：長野県環境保全研究所研究報告、17, 73-83 (2021)  
「長野県における気候変化の観測事実と将来予測」

### 【サブテーマ 2】

特に記載すべき事項はない。

### 【サブテーマ 3】

- 1) 栗林正俊、山田恭平、葉田野希：みどりのこえ、60, 2-5 (2020)  
「特集1 地球温暖化と豪雨災害」

### 【サブテーマ 4】

- 1) 佐藤大輝、川越清樹：地球環境シンポジウム講演集、29, 21-24 (2021)  
「UAV技術による斜面モニタリングの適用性に関する検討」
- 2) 川越清樹、二瓶茜：地球環境シンポジウム講演集、29, 143-144 (2021)  
「Eco-DRRの効果を示す令和元年台風第19号の斜面抑止効果」

### 【サブテーマ 5】

- 1) 村松崇、山崎剛：東北の雪と生活、34, 56-60 (2019)  
「数値モデルを用いた雨氷発生時の大気場に関する研究」

- 2) 岩波発彦、山崎剛：東北の雪と生活、35, 46-49 (2020)  
「陸面過程モデルを用いた凍霜害の推定」
- 3) 岩波発彦、山崎剛：東北の雪と生活、36, 42-44 (2021)  
「陸面過程モデルを用いた凍霜害の推定 (2)」

### 【サブテーマ 6】

特に記載すべき事項はない。

## (2) 口頭発表 (学会等)

### 【サブテーマ 1】

- 1) 浜田 崇、栗林正俊：第46回長野県環境科学研究発表会 (2019)  
「長野県の気候変動に関する基盤情報整備の現状と課題」
- 2) 高野 (竹中) 宏平、中尾勝洋、尾関雅章、堀田昌伸、浜田 崇、須賀 丈、大橋春香、平田 晶子、石郷岡康史：第22回自然系調査研究機関連絡会議 (NORNAC22) 調査研究・活動事例発表会 (2019)  
「自治体の地域気候変動適応に向けたVelocity of Climate Change (VoCC)の解析」
- 3) 高野 (竹中) 宏平、中尾勝洋、尾関雅章、堀田昌伸、浜田 崇、須賀 丈、大橋春香、平田 晶子、石郷岡康史：2019年度環境情報科学研究発表大会 (2019)  
「自治体の地域気候変動適応に向けたVelocity of Climate Change (VoCC)の解析」
- 4) 浜田 崇、井田玲子：第35回全国環境研究所交流シンポジウム (2020)  
「気候変動適応を推進するために必要な情報とは？」
- 5) 栗林正俊、浜田崇：第47回長野県環境科学研究発表会 (2020)  
「統計的ダウンスケールによる長野県の気候予測」
- 6) 浜田 崇：第61回大気環境学会年会特別集会「気候変動影響と自治体の対策について」 (2020)  
「長野県における気候変動の実態と自治体の対策」 (誌上発表)
- 7) 浜田 崇：持続可能な地域創造ネットワーク設立記念大会グループセッション (D) (2020)  
「『気候変動への気づき』長野県における市民や高校生との共創」
- 8) 浜田 崇、井田玲子、真砂佳史、高井雄一郎：第36回全国環境研究所交流シンポジウム (2021)  
「地域における気候変動適応のための情報発信と課題」
- 9) 瀬崎歩美、原田昌、池田友紀子、浜田崇：第17回ヤマセ研究会 (2022)  
「長野県でのリンゴ凍霜害リスクの将来変化の解析 ～休眠打破時期の遅れに関する評価～」

### 【サブテーマ 2】

- 1) Y. ISHIGOOKA: Asia Pacific Advanced Network Meeting 48, 場所, 国, 2019  
“Development of the high-resolution historical gridded daily meteorological dataset over Japan using the JRA-55 reanalysis data.”
- 2) T. KUWAGATA et al.: AgMIP-East Asia and Climate Smart Agriculture Symposium & The 6<sup>th</sup> Symposium on the Development and Application of Agricultural System Models in China, 2019  
“Characteristics of local climate in rice paddy area of Japan.”
- 3) T. KUWAGATA et al.: Asia Pacific Advanced Network Meeting 49, 2020  
“Characteristics and monitoring of local climate in rice paddy area of Japan.”
- 4) 石郷岡 康史、桑形 恒男：第11回農業環境インベントリー研究会 (2021)  
「過去の気象観測情報整備とベース・レジストリ」

- 5) 石郷岡 康史、桑形 恒男、吉本真由美、西森基貴、長谷川利拡：第32回気象環境研究会 (2022)

「近年の気候変動と2018年夏季高温の特徴」

### 【サブテーマ3】

- 1) 栗林正俊、山田恭平：第35回全国環境研究所交流シンポジウム (2020年)  
「長野県における気候変動・異常気象の詳細解析」
- 2) 栗林正俊、山田恭平：第47回長野県環境科学研究発表会 (2020)  
「令和元年東日本台風に伴う長野県の豪雨と地形の関係」
- 3) 山田恭平、栗林正俊：日本気象学会2020年度秋季大会 (2020)  
「令和元年東日本台風に伴う豪雨への中部山岳の影響」
- 4) 山田恭平、栗林正俊：日本気象学会2021年度春季大会 (2021)  
「長野県における2018年8月の急激な昇温事例の解析」
- 5) 山田恭平、栗林正俊：第48回長野県環境科学研究発表会 (2021)  
「2018年8月における長野県北東部の急激な寒暖差に関して」
- 6) 山田恭平、栗林正俊：日本ヒートアイランド学会第16回全国大会 (2021)  
「長野県北東部における2018年8月の急激な温度上昇について」
- 7) 栗林正俊：雪氷研究大会 (2021・千葉-オンライン) (2021)  
「長期気候再現計算に基づく中部山岳域の降雪・積雪の経年変化」
- 8) 山田恭平、栗林正俊：日本気象学会2021年度秋季大会 (2021)  
「フェーン現象とヒートアイランドによる2018年8月22日の長野県北東部における昇温イベント」
- 9) 栗林正俊：日本気象学会2021年度秋季大会 (2021)  
「中部山岳域における降水・積雪の経年変化率と標高の関係」
- 10) 栗林正俊：第17回ヤマセ研究会 (2022)  
「中部山岳域における気候変化の水平分布と標高依存性の解析」

### 【サブテーマ4】

- 1) H. SUZUKI, S. YABUSAKI, S. KAWAGOE：第9回同位体環境学シンポジウム (2019)  
“Estimation of snow external load distribution due to chemical constituent concentration.”
- 1) 鈴木皓達、川越清樹、浜田崇：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)  
「融雪型土砂災害の評価に向けた積雪環境情報のデータベース開発」
- 2) 川越清樹：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)  
「令和元年台風第19号 福島県の被害と考察」
- 3) 佐藤大輝、鈴木皓達、川越清樹：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)  
「アンケート調査に基づいた流域環境の管理に用いることのできるアーカイブ情報の開発」
- 4) 小杉吏緒、鈴木皓達、川越清樹：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)  
「東北地方を対象とする気候変動に応じた可能最大降水量PMPの検討」
- 5) 吉津愛、鈴木皓達、川越清樹：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)  
「阿武隈川流域圏の将来人口推移と防災体制に関する研究」
- 6) 幡谷有翼、藪崎志穂、川越清樹：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)  
「東北地方の流域に対する物質輸送特性に関する解析」
- 7) 古山茉実、鈴木皓達、川越清樹：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)  
「阿武隈川河口域の土砂堆積へ影響を及ぼす気象イベントの評価」
- 8) E. LOA, S. KAWAGOE：令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会 (2020)

“Evaluation of land cover due to soil erosion in Abukuma basin using satellite image analysis at within a time scale.”

- 9) 鈴木皓達、川越清樹、浜田崇：第39回日本自然災害学会学術講演会（2021）  
「マルチな気候要素を考慮した土砂災害リスク評価と適応策の検討」
- 10) 鈴木皓達、川越清樹、浜田崇：令和2年度東北支部技術研究発表会（2021）  
「気候変動適応策へ向けた統合型土砂災害リスクの評価」
- 11) 佐藤大輝、鈴木皓達、川越清樹：令和2年度東北支部技術研究発表会（2021）  
「河川との共生の持続可能性にむけたアーカイブ情報整備」
- 12) 川越清樹、佐藤大輝、阿部翼、二瓶茜：第75回地学団体研究会総会再エネ・防災シンポジウム（2021）  
「令和元年台風19号の被害状況をふまえたEco-DRRへの展開」
- 13) 佐藤大輝、川越清樹：第29回土木学会地球環境シンポジウム（2021）  
「UAV技術による斜面モニタリングの適用性に関する検討」
- 14) 佐藤大輝、川越清樹：令和3年土木学会東北支部技術研究発表会（2022）  
「UAVを用いた流域斜面動態のモニタリング技術の提案」
- 15) 二瓶茜、佐藤大輝、川越清樹：令和3年土木学会東北支部技術研究発表会（2022）  
「流域における森林のEco-DRR効果の基礎的研究」

#### 【サブテーマ5】

- 1) 村松崇、山崎剛：日本雪氷学会東北支部大会（2019）  
「数値モデルを用いた雨氷発生時の大気場に関する研究」
- 2) 岩波発彦、山崎剛：日本気象学会東北支部気象研究会（2020）  
「陸面過程モデルを用いた凍霜害の推定」
- 3) 岩波発彦、山崎剛：日本雪氷学会東北支部大会（2021）  
「陸面過程モデルを用いた凍霜害の推定(2)」
- 4) 瀧口海人、山崎剛：日本気象学会2021年秋季大会（2021）  
「長野県における雨氷現象の数値モデルによる解析」
- 5) 山崎剛：果樹の凍霜害に関する意見交換会（2021）  
「植生熱収支モデルと週間アンサンブル予報を用いた凍霜害リスク情報提供へ向けた研究」

#### 【サブテーマ6】

- 1) 関原大輔、中谷岳史：日本建築学会大会学術講演梗概集（2020）  
「長野県長野市の小学校における室内温熱環境調査 温熱知覚に対する学年と性差の影響」
- 2) 中川暁登、中谷岳史：日本建築学会大会学術講演梗概集（2020）  
「秋季から冬期における上衣及び下衣の着衣量の実態調査」

### （3）「国民との科学・技術対話」の実施

#### 【サブテーマ1】

- 1) サイエンスカフェ@ワークラボハヶ岳「将来の気候変動にどう備えればいいのか？」（主催：ワークラボハヶ岳，2019年8月25日、ワークラボハヶ岳フリーラウンジ，参加者10名）にて講演
- 2) 佐久危険物安全協会創立30周年記念式典（主催：佐久危険物安全協会、2019年10月17日，ホテル一萬里，参加者約70名）にて講演
- 3) 山と自然のサイエンスカフェ@信州「これからの気候変動にどう備えるか？」（主催：長野県環境保全研究所，2019年10月24日、長野駅ビルMIDORIりんごの広場，参加者約50名）にて講演

- 4) 中部環境事務所広域協議会気候変動適応部会（主催：環境省中部環境事務所，2019年11月5日、参加者約50名）にて講演
- 5) 信州自然講座「今」（主催：長野県環境保全研究所，2019年11月30日、豊丘村学習交流センター「ゆめあるて」，参加者約60名）にて講演
- 6) 「第2回環カフェ」（主催：安曇野環境市民ネットワーク，2020年1月30日，安曇野市役所会議室、参加者約20名）にて講演
- 7) 信州・気候変動適応プラットフォーム生態系部会，2020年1月31日，長野県庁会議室，参加者約20名）にて講演
- 8) 長野県政策会議（知事、副知事および各部長へ長野県における気候変動の影響と適応について説明、2020年2月5日）にて講演
- 9) 第35回全国環境研究所交流シンポジウム「変わりゆく環境・生態系・人の関わりを考える」（主催：国立環境研究所、2020年2月13-14日、国立環境研究所大山記念ホール、観客約170名）にて講演
- 10) 長野県自然保護レンジャー上伊那地域研修会（主催：上伊那地域振興局環境課，2020年2月18日，上伊那地域振興会議室，参加者17名）にて講演
- 11) 出前講座（主催：NPO法人八ヶ岳森林文化の会，2020年2月20日，ゆいわーくちの会議室，参加者約30名）にて講演
- 12) 佐久市民有志勉強会（主催：佐久市民有志，2020年3月2日，長野県環境保全研究所飯綱庁舎，参加者7名）にて講演
- 13) 長野県立上田高校における課題研究「県内フィールドワーク」（1年6組『身近な気候変動影響を学ぶ』）（2020年7月30日、上田高校、生徒約30名）
- 14) 長野県立上田高校における課題研究「県内フィールドワーク」（1年6組『身近な気候変動影響を学ぶ』）（2020年9月17日、長野市生涯学習センターT0iG0 4F 大会議室3、生徒約30名）
- 15) 令和2年度 気候変動適応中部広域協議会自然生態系への影響分科会プレ分科会（主催：中部地方環境事務所、2020年9月28日、参加者約50名）にて講演
- 16) 白馬COOL CHOICEイベント「白馬に雪は降るか」（主催：白馬村、2020年10月24日、参加者約60名）にて講演
- 17) 出前講座（主催：清里ネイチャーガイドクラブ、2020年11月11日，ゆいわーくちの会議室，参加者約15名）にて講演
- 18) 令和2年度東北ブロック気候変動適応策推進協議会（主催：東北農政局、2020年11月13日、参加者約30名）にて講演
- 19) 出前講座（主催：公益社団法人 日本技術士会長野県支部、2020年11月14日，Zoomによるオンライン、参加者約30名）にて講演
- 20) 「令和2年度気候変動適応における広域アクションプラン策定事業東北地域業務」生物季節分科会（主催：東北地方環境事務所、2020年11月17日、Webexによるオンライン、参加者約40名）にて講演
- 21) 長野県立松本縣ヶ丘高校の研修依頼対応「気候変動に関する勉強会」（2020年11月30日、書面回答、参加者6名）
- 22) 令和2年度地球温暖化対応プロジェクトチーム会議（主催：長野県農業試験場、2020年12月11日、農業試験場農業技術館講堂、参加者約50名）にて講演
- 23) 出前講座（主催：松本市議会建設環境委員会、2021年1月15日、Zoomによるオンライン、参加者11名）にて講演
- 24) 地域振興局環境課長等会議（主催：長野県環境部、2021年2月9日、Webexによるオンライン、参加者約30名）にて講演
- 25) 長野市環境マネジメントシステム全体研修会（主催：長野市、2021年2月12日、長野市役所、参加者約80名）にて講演



- 26) 令和2年度第2回(通算51回)山と自然のサイエンスカフェ@信州 「気候非常事態と長野県の森林」(主催:長野県環境保全研究所、2021年2月20日、オンライン開催、観客30名)にて講演
- 27) 出前講座(主催:阿智村、2021年3月4日、Zoomによるオンライン、参加者25名)にて講演
- 28) 令和3年度第1回(通算52回)山と自然のサイエンスカフェ@信州 「2050ゼロカーボンへの鍵:信州のカラマツ林」(主催:長野県環境保全研究所、2021年11月10日、県立長野図書館3階信州・学び創造ラボ、観客15名)にて講演
- 29) 長野県環境関連新任職員研修(主催:長野県、2021年5月13日、Webexによるオンライン、参加者約30名)にて講演
- 30) 令和3年度気候変動業務研修(主催:気象庁、2021年6月29日、Webexによるオンライン、参加者約30名)にて講演
- 31) 令和3年度気候変動適応における広域アクションプラン策定事業 自然生態系への影響分科会 7月普及啓発セミナー(主催:中部地方環境事務所、2021年7月17日、Webexによるオンライン、参加者約40名)にて講演
- 32) ゼロカーボン指導者研修会(主催:松本地域振興局、2021年8月10日、松本合同庁舎5階 502号会議室、参加者10名)にて講演
- 33) 出前講座(主催:特定非営利活動法人長野県NPOセンター、2021年8月11日、Zoomによるオンライン、参加者約20名)にて講演
- 34) 日本地理学会2021年度サマースクール(主催:公益財団法人日本地理学会 企画専門委員会、Zoomによるオンライン、参加者約40名)にて講演
- 35) 第6回気候変動適応中部広域協議会(主催:中部地方環境事務所、Webexによるオンライン、参加者約40名)
- 36) 長野県環境学生コミュニティ勉強会(主催:長野県環境部、2021年9月22日、Zoomによるオンライン、参加者10名)
- 37) 第一回小布施町環境フォーラム(主催:小布施町/長野県、2022年2月27日、YouTubeライブ配信、参加者50名)
- 38) 令和3年度市町村職員向け適応セミナー(主催:中部地方環境事務所、2022年3月8日、Webexによるオンライン、参加者約60名)

## 【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

## 【サブテーマ3】

- 1) 第35回全国環境研究所交流シンポジウム「変わりゆく環境・生態系・人の関わりを考える」(主催:国立環境研究所、2020年2月13-14日、国立環境研究所大山記念ホール、観客約170名)にて講演

## 【サブテーマ4】

- 1) 令和元年度河川懇談会(主催:国土交通省東北地方整備局、2019年12月25日、TKPガーデンシティ仙台、観客約50名)にて講演
- 2) 川越清樹、適応策実施に向けた改良版の土砂災害警戒情報作成、飯山市役所、2020.7(飯山市役所)
- 3) 川越清樹、適応策実施に向けた改良版の土砂災害警戒情報作成、飯田市役所、2021.2(飯田市役所)

## 【サブテーマ5】

特に記載すべき事項はない。

### 【サブテーマ6】

- 1) 長野市芹田小学校長・職員と対面で意見交換（2021年6月16日）
- 2) 長野県環境学生コミュニティ勉強会（主催：長野県環境部、2021年9月22日、Zoomによるオンライン、参加者10名）

## （4）マスコミ等への公表・報道等＞

### 【サブテーマ1】

- 1) 時事通信ニュース（2019年11月27日配信）「10道県の高山生態系に危機—21世紀末「生息適地」失う—温暖化の影響推計」Yahoo!ニュース、ニフティニュース、ライブドアニュース等ネットニュースで27回以上転載
- 2) The Japan Times（2019年11月27日、National面）「Alpine ecosystems at risk in 10 prefectures from climate change, researchers warn」
- 3) 信濃毎日新聞（2019年11月27日、総合版、1面）「高山帯の動植物温暖化で生息危機 県環境保全研究所など『保全策検討を』県内など10道県の21世紀末予測」
- 4) 長野日報（2019年11月27日）「高山帯動植物絶滅の危険性 長野など10道県」
- 5) 北陸中日新聞（2019年11月27日、朝刊、3面）「高山帯の動植物 生息適地失う？富山など10道県温暖化で21世紀末」
- 6) 農業協同組合新聞\_JAcom（2019年11月28日、農政面）「早い温暖化の速度 農業にも大きな影響が」
- 7) YBS山梨放送 ワイドニュース（2019年11月28日、「『逃げ場なくなる恐れ』高山帯の動植物温暖化でピンチ」として3分ほど紹介）
- 8) 環境ビジネスオンライン（2019年12月2日）「『気候変動の速度』は249m／年 高山生態系の逃げ場なくなるかも？」
- 9) 日本農業新聞（2019年12月2日、1面、「四季」欄）「暑さを逃れる生き物が大移動する」
- 10) 日本経済新聞（2019年12月3日、全国版、3面）「高山生態系10道県で危機 今世紀末推計 温暖化で生息地失う」
- 11) TBSラジオ 森本毅郎スタンバイ（2019年12月4日、VoCCの成果について気象予報士森田さんが1分ほど紹介）
- 12) NHKラジオ第1 三宅民夫のマイあさ！けさのニュース（2020年2月13日、VoCCの成果について2分ほど紹介）
- 13) NHK長野放送局 朝のニュース（2020年2月13日、VoCCの成果について2分ほど紹介）
- 14) NHK長野放送局 イブニング信州（2020年2月13日、VoCCの成果について2分ほど紹介）
- 15) 中日新聞（2020年7月22日取材、気候変動についてわかりやすく伝えるコーナーで答える）
- 16) 広報ながのけん（2020年8月22、県内13紙、○頁、「温暖化の影響と私たちができること」）
- 17) 長野県・東北大学・福井工業大学・北海道大学・総合地球学研究所・九州大学、プレスリリース（2020年8月26日）（研究成果）「環境保全への協力意識に情報提供が与える影響を評価—寄付してもよいと思う金額は、文章と図表で情報提供すると12～19%増加、動画で情報提供すると逆に 5～7%減少—」
- 18) 日本研究.comに掲載（環境保全への協力意識に情報提供が与える影響を評価）  
<https://research-er.jp/articles/view/91472>
- 19) CATV「信州のチカラ」（2020年8月配信、気候変動適応の成果について7分ほど紹介）
- 20) 信州ゼロカーボンWEB講座～ストップ気候変動～世界と長野の未来を考えよう研究資料を提供
- 21) FMぜんこうじ「みどりとみずと」（2020年12月5日と19日、長野県における地球温暖化によ

る影響や将来的な予測などの研究成果について15分の番組（2回）にて紹介）

- 22) 長野放送「フォーカス信州」（2021年2月26日、長野県における気候変動とその影響について30分番組にて紹介）
- 23) 環境首都創造 NGO 全国ネットワーク「気候変動適応の共創プログラム」開発のための事例紹介映像版インタビュー対応（2021年2月24日）
- 24) テレビ信州「ゆうがたGET」（2021年6月2日資料提供、長野県におけるリンゴ栽培適地の将来予測結果）

### 【サブテーマ2】

- 1) 農研機構・北海道大学、プレスリリース（2021年3月12日）（研究成果）水田は、周辺地域の気温の上昇を緩和しているが、その効果は大気CO2の増加により低下する。（本事業で整備した観測点周辺の土地利用データを利用して得られた成果である）  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/niaes/138457.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/niaes/138457.html)
- 2) 日本農業新聞に掲載（2021年3月16日、「水田地域…市街地より2度涼しい 気温抑制効果モデル化 農研機構・北海道大学」）

### 【サブテーマ3】

- 1) 成果のプレスリリース（2021年7月15日、於長野県（環境部）、「令和元年東日本台風において、中部山岳の影響により長野県北部地域で激しい豪雨になったことが分かりました」）
- 2) 信濃毎日新聞（2021年7月15日、34頁（第二社会面）、令和元年東日本台風の豪雨への長野の山岳影響に関する研究成果について紹介）
- 3) 中日新聞（2021年7月14日に取材、令和元年東日本台風の豪雨への長野の山岳影響に関する研究成果について紹介）
- 4) 朝日新聞（2021年7月14日に取材、令和元年東日本台風の豪雨への長野の山岳影響に関する研究成果について紹介）
- 5) 長野朝日放送ABNステーション（2021年7月15日、令和元年東日本台風の豪雨への長野の山岳影響に関する研究成果について紹介）
- 6) NHK（2021年7月15日に取材、令和元年東日本台風の豪雨への長野の山岳影響に関する研究成果について紹介）
- 7) 長野市民新聞（2021年7月20日に取材、令和元年東日本台風の豪雨への長野の山岳影響に関する研究成果について紹介）
- 8) 読売新聞（2021年10月4日に取材、令和元年東日本台風の豪雨への長野の山岳影響に関する研究成果について紹介）

### 【サブテーマ4】

特に記載すべき事項はない

### 【サブテーマ5】

特に記載すべき事項はない

### 【サブテーマ6】

特に記載すべき事項はない

## （5）本研究費の研究成果による受賞

### 【サブテーマ4】

- 1) 二瓶茜：第29回地球環境シンポジウム 地球環境シンポジウム優秀ポスター賞

## IV. 英文Abstract

**Research on Information Design to Promote Climate Change Adaptation**

Principal Investigator: Takashi HAMADA

Institution: Nagano Environmental Conservation Research Institute, Nagano City, Nagano, JAPAN

Cooperated by: National Agriculture and Food Research Organization, Fukushima University, Tohoku University, Shinshu University

## [Abstract]

Key Words: Climate change adaptation, Information design, Local climate change adaptation center, Guide of information preparation, Activity casebook

To promote the adaptation of the climate change in the local area, we examined the information design of the climate change through the exchange of opinions with various stakeholders. And, a guide of the information making for climate change adaptation was created.

We tried to unify the quality control and statistical processing methods of meteorological data observed by different organizations, and to create a database in a user-friendly format. Also, the meta information of each observation point was generated as KML-file so that the positional relationships between them can be visually confirmed on Google Earth.

We aimed to organize past abnormal weather information, to analyze the mechanism of occurrence of extreme events with a numerical model, and to visualize them as a climate change area map. Numerical model elucidated the mechanism of record breaking heavy rain and heat wave in Nagano prefecture based on sensitivity simulations. The model and high density weather observations expressed the detail spatial distributions of decadal heavy rain events after 1980s.

The impact of climate change on slope failure is considered in terms not only rainfall but also snowmelt. A slope failure risk model has already been developed for heavy rainfall. In this study, the model is evolved to be applicable to snowmelt by using RoS (Rain on Snow). A database of risk for sediment disaster prone area was developed using the outputs of the multi-seasonal slope failure risk model. The information in the developed database is shared with model municipalities and improved into information that can be used for slope failure adaptation measures.

Frost occurrence was estimated with use of a vegetation heat-balance model. It was shown that the most important meteorological factor to predict frost was down-ward long-wave radiation. Samples for stochastic early warning was produced from one-week ensemble forecasts.

When managing a school, heat stroke must be prevented because children spend a lot of time there. However, it is difficult for teachers to judge the thermal environment based on their subjective judgment, because teachers and children have different thermal senses and the thermal environment in classrooms and schoolyards is distributed

in the space. In order for teachers to predict the risk of heat stroke, it is desirable to measure the thermal environment and make judgments based on the data.