

<報 文>

富山県における温暖化の影響に関する調査研究*

—過去から近未来までの気候変化の把握とその活用について—

初鹿宏壮**

キーワード ①温暖化影響 ②気候変化 ③近未来予測 ④環境教育

要 旨

県民や事業者に温暖化についての認識を深めていただき、温室効果ガス排出削減への自主的な活動や温暖化への適応策の推進につなげるため、本県を対象とする過去から将来における気候変化及びそれがもたらす様々な影響について調査研究を実施している。過去からの観測資料を用いて気温等の変化を解析したところ、既に自然環境や県民生活に影響が表れていることが分かった。また、気候モデルを用いた将来予測を実施したところ、今後さらに気温の上昇が見込まれ、それに伴い降積雪量の更なる減少、熱中症リスクの増加等を予測した。これらの結果は、県の各分野での活用を図っており、また、環境教育に役立つように可視化してウェブページで公開している。

1. はじめに

地球温暖化を防止するためには、地域レベルにおいても温室効果ガスの排出を抑制する必要がある。本県においても県民一人ひとりが自らの問題として認識することが重要である。また、2030年代などの近い将来（近未来）の県民生活を安全・安心なものにするためには、気候の変化を理解し、あらかじめ対応する準備（適応策）を進めておく必要がある。しかしながら世界や国レベルで作成された将来気候の予測情報は空間解像度が粗く、本県における環境教育や適応策の検討に活用するには不十分であった。

これらのことから、富山県環境科学センターでは、平成18年度から「富山県における温暖化の影響に関する調査研究」を実施している。研究の方向性は大きく二つに分けられ、一つ目は、過去から現在までの既存資料を解析することにより、本県における気温や降水量等の気候の変化を把握すること、二つ目は、シミュレーションモデルを用いて、本県域の気温、降雪量等の将来気候について温暖化による変化を予測することである。引き続き、過去から近未来までの気候変化とその影響に関する基礎資料を得ることを目指し、研究を進めているところであり、本報ではこれまでの成果を紹介する。

2. 過去から現在までの温暖化の解析

現在までの温暖化を把握するため、富山地方気象台の気温や生物季節等の観測資料、県内で過去から蓄積されてきた降積雪資料等を整理し、その中から現在までに既に表れている変化傾向を解析した。また、その際、統計学的な有意性の検定には、月平均気温のようにトレンド成分を除去した変動成分が正規分布とみなせるものについては線形回帰によるt検定、日降水量、生物季節等のように変動成分が正規分布とみなせないものについてはノンパラメトリックなMann-Kendallの順位検定等を用いた。

2.1 気温、生物季節等の変化

まず、富山地方気象台の気温、生物季節観測資料から、真夏日の増加、イロハカエデの紅葉時期の遅延、ソメイヨシノの開花時期の早期化（図1）が既に本県においても表れていることを確認した¹⁾。

さらに、月ごとや季節ごとの変化傾向について統計的に有意か検定したところ、2月の最高気温、12月と3月の降水量のそれぞれが増加していること、また県内各地で真冬日の減少、真夏日の増加等が明らかになった²⁾。

*Study of Influence to Regional Climate in Toyama Prefecture due to Global Warming

**Hiroaki HATSUSHIKA（富山県環境科学センター）Toyama Prefectural Environmental Science Research Center

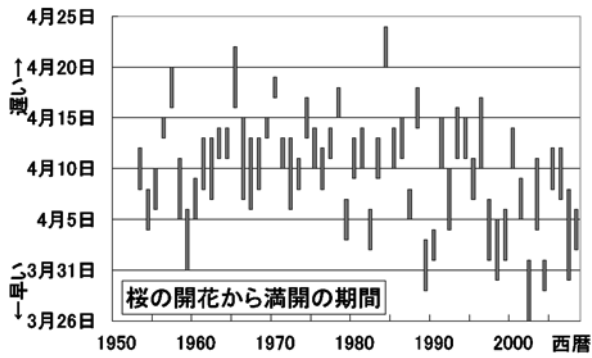


図1 桜（ソメイヨシノ）の開花から満開の期間

2.2 身近な生活に係る温度指標の変化

温暖化に係る身近な情報を提供するため、気温や湿度の観測データを経験式等に当てはめた解析を実施した。

冷暖房使用によるエネルギー消費量の推定には、外気温のデータについて、基準温度以上や以下の温度の積算値を求める手段（デGREEデー）が活用できることから、県内各地における冷房及び暖房デGREEデーを求め、その変化を解析した³⁾。これにより、本県では夏期と比較して冬期に必要なエネルギー量が大きいものの、春先に暖房デGREEデーが有意に減少していること（図2）が分かった。

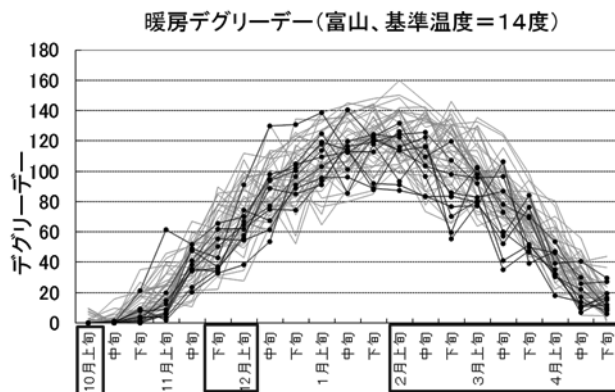


図2 富山における10月から4月の暖房デGREEデー（1961年～2010年）

※2001年以降は太線と黒丸で表し、有意な減少のみられた時期を四角で囲った。

また、気温と湿度のデータを用いて、6月～9月の4時刻（3, 9, 15, 21時）における不快指数を計算した⁴⁾。その結果、半分以上の人々が不快と感じるとされている不快指数75%以上となる日数（不快日数）について、各時刻で増加傾向が確認できた。特に深夜3時の増加傾向が大きく、寝苦しい夜が、1960年代～1970年代の10日程度から、近年は30日程度に増加していた（図3）。

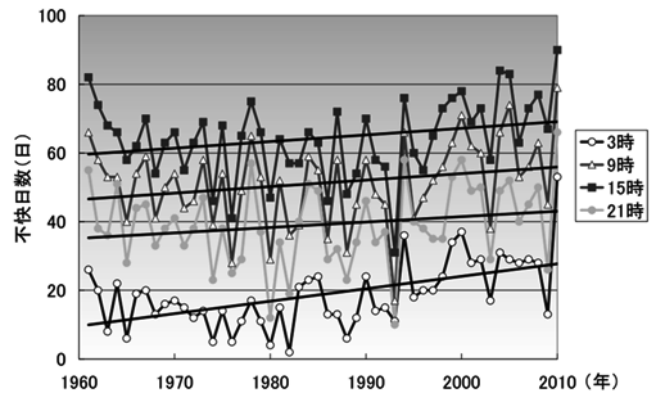


図3 6～9月の各時刻における不快日数

また、特に6月の梅雨明け前と9月の残暑時期に不快日数の増加傾向が大きかった。このことから、近年は夏期に室温調節なしに体調管理することが難しくなっていることが推測できる。

2.3 降雪の変化

積雪が県民生活に与える影響は大きく、温暖化に伴う降積雪量の変化は県民の関心が高い。そこで、県が取りまとめた降積雪量に関する調査資料^{5, 6, 7)}をデジタル化して、延べ100地点以上の観測地点の中から30年以上の観測資料が得られた県内27地点について、一冬で積算した降雪量、降雪日数等を解析した⁸⁾。その結果、平野部において冬の降雪量は10年につき30～60cm、降雪日数は10年につき2～6日程度、有意な減少傾向があることが分かった（図4）。平野部におけるこれらの減少は、富山平野において、わずかな気温上昇により降雪が降雨に変わりやすいことを示しており、温暖化の影響を受けやすい地域であることを示唆する結果となった。

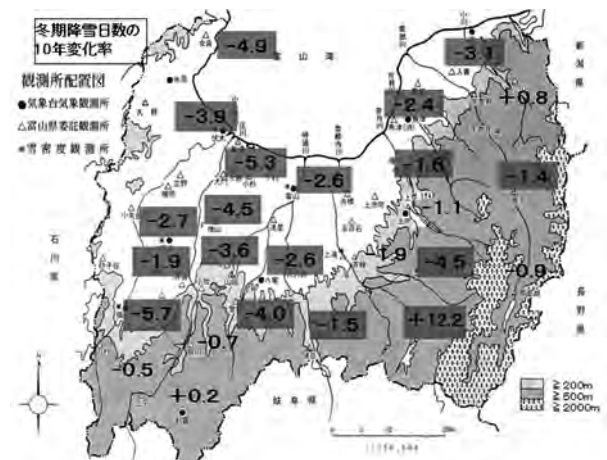


図4 冬期降積雪日数の10年変化率（日/10年）

※有意な変化を陰影付きの数字で表す。なお、地図上の陰影は山岳部を示す。

2.4 山岳における融雪時期の変化

山岳部において夏にかけて徐々に融ける雪は、本県の水資源に大きな影響を与えている。また、貴重な自然環境である高山植物やライチョウに対する温暖化の影響が懸念されている⁹⁾。現在までのところ、図4に示すように、山岳部では降雪量や降雪日数の変化が有意でない地点が多いが、そもそも温暖化の影響を把握できる地点は限られている。

このようなことから、富山大学及び立山カルデラ砂防博物館との連携のもと、平成20年度から立山室堂平（標高2,450m）の周辺において、雪解け時期の調査を実施しており、雪解け時期が微地形や植生分布と密接に関わることを確認している¹⁰⁾。

図5は室堂山（標高2,668m）の雪渓から立山室堂平へ流れ込む流水の水温と水圧の変化を通年で測定したものである。水温は積雪時期には0℃で安定しており、周辺の雪が消えてくるとともに上昇しているのに対して、水圧は2月頃にも一時的な上昇がみられる。このことは、厳冬期に水の流れがあったことを示す。これを確認するために、この地域の気象をシミュレーションモデルにより再現したところ、発達した低気圧の通過による暖気の流入が異常な高温と降雨をもたらしたことが確認できた。このような温暖化と雪解けとの関係を解明し、山岳部における自然環境の保全等に資するため、今後も観測を継続していく。

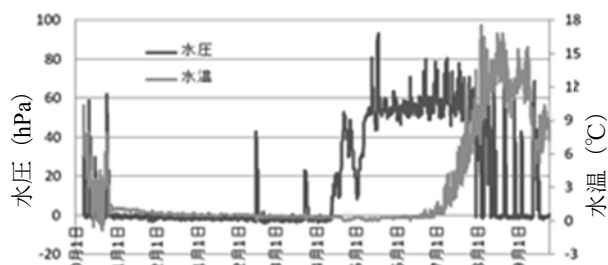


図5 室堂山からの流水の水温と水圧の変化（2008年10月～2009年9月）

3. 近未来の温暖化予測

平成22年度から平成26年度には、文部科学省の委託研究¹¹⁾により、海洋研究開発機構などとの連携のもとに、これまで地球全体あるいは日本全体の規模で行われていた温暖化による気候変化予測を県域の範囲で実施した。

元来の温暖化の予測計算は、国連のWCRP（世界気候計画）の作業部会が策定したCMIP5¹²⁾の仕様に従って世界中の公的気象機関や大学・研究所等により実施されている。しかしながら、得られる気温等の予測情報は、地球全体の影響を網羅する必要があるが、計算機資源の制約から、全球モデルにより得られる予測情報の空間解像度（地球

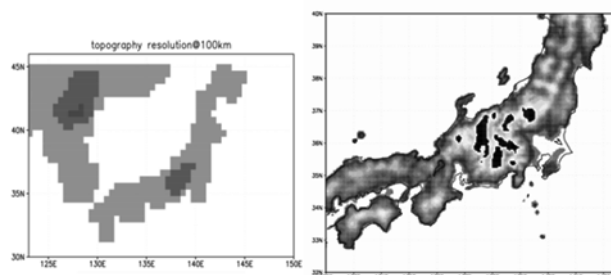


図6 世界の温暖化予測計算（左、100km格子）と県域の温暖化予測計算（右、4.5km格子）に用いる地形

表面を等間隔な格子点で覆いつくした際の格子点間隔）は低く、最も空間解像度が高いものでも格子点の間隔は約60km（60kmメッシュ）で、平均では100km程度である（図6左）。このため、本県域の周辺を見た場合、2～3の格子点の内側に県内全域が収まってしまい、また地形などの状況も反映されておらず、温暖化により本県の将来の降雪量等がどのように変化するかを理解するためには不十分であった。

こうしたことから、全球モデルの予測計算で得られた気温等の現在からの変化量と現在の実際の気象の変動から温暖化時の気象の変動を疑似的に作成し、さらに本県及びその周辺域の地形の特徴などを反映した高解像度のシミュレーションを行うことで、4.5kmメッシュ

（図6右）の細かさで近未来（2030年代）における気温、降雨量、降雪量等を予測した。その結果をさらに解析することにより得られた知見のうち主なものを以下に紹介する。

3.1 WBGT指数の変化

既に現状でも不快日数が過去と比較して増加しており、盛夏期に熱中症の搬送患者数も多く報告されている¹³⁾。このことから、熱中症の指標の一つである湿球黒球温度（WBGT）指数について、県内の現在から近未来への変化を予測した¹⁴⁾。図7では、日常生活でも厳重警戒が必要なWBGT指数が28℃以上となる日数について、現在の状況

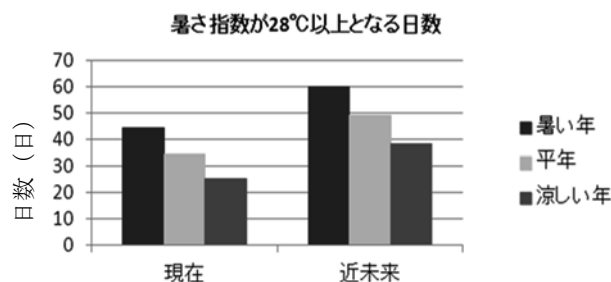


図7 現在（左）と近未来（右）における熱中症に厳重警戒が必要な日数（WBGT指数が28℃以上となる日数）

と近未来の変化を求めた。その結果、現在の暑い年でも40日以上、警戒が必要な日があるが、近未来にはさらに増加し、平年でも50日に迫ることが分かった。また、時間帯別にみると盛夏期に厳重警戒のレベル（WBGT指数で28℃）を超過する時間帯が広がり、夜間も含めて注意が必要となる可能性が示唆された。

3.2 積算時間別の最大降雪量の変化

2章の3では過去から現在までの気温の変化に伴い降雪日数等が平野部で減少していることを示したが、図8では、県内平野部における年間総降雪量並びに6時間、1日及び1週間で積算した年最大降雪量について、現在から近未来の増減（変化率）を求めた¹⁵⁾。

年間総降雪量は、日々の降雪量を積算したもので、平野部の平均で、現在は3m程度であるが、近未来には現在の60%程度まで減少する。一方で、積算時間が短くなるほど、年最大降雪量の比は小さくならず、短時間の降雪については現在の80%程度にとどまり、年間総降雪量ほどは減少しない。このことから、冬期を通しての降積雪量は減少するかもしれないが、今後も豪雪災害への備えが必要と考えられる。

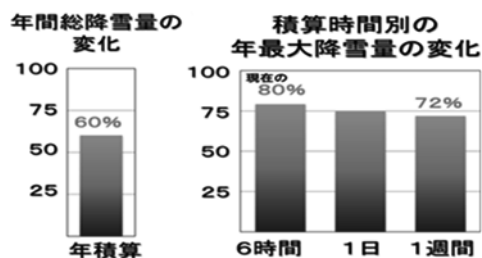


図8 富山県域の標高100m以下の平地における年間総降雪量及び積算時間別の年最大降雪量の現在から近未来への変化率（％）

4. 研究成果の情報提供

当センターでは、富山県環境科学センター年報、研究成果発表会、各団体からの依頼による講演会、マスコミ報道等を活用して、研究成果の発信に努めている。さらに本研究では、県民や事業者による温暖化防止活動を効果的に推進し、適応策の検討を進めるための情報発信として、県行政計画等での活用や特設ウェブページによる成果の発信を行っている。

4.1 行政計画等への成果の活用

県が実施する温暖化対策を定める「とやま温暖化ストップ計画¹⁶⁾」において、適応策検討の基礎資料として活用された（図9）。さらに健康や防災に関して、影響が懸念される事例として、熱中症に厳重警戒が必要な日数の

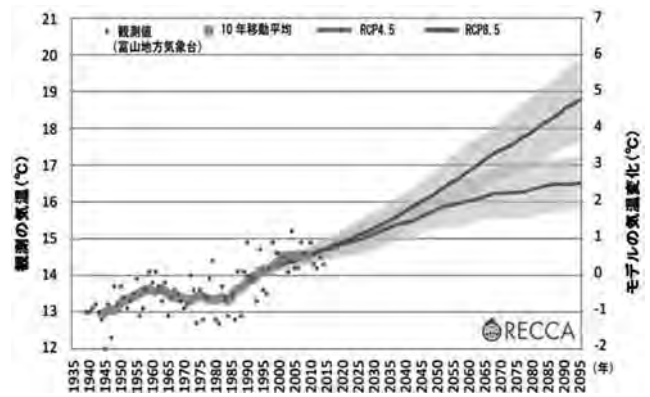


図9 富山県における年平均気温の観測結果と将来予測

※点とその10年移動平均の太線は富山地方気象台の年平均気温（左軸）、2000年以降の太実線は予測による本県付近の将来シナリオ別（RCP4.5, RCP8.5）の気温変化量（右軸）。各シナリオにおけるモデルの不確実性を陰影で表す。（とやま温暖化ストップ計画に掲載）

ほか、過去から現在までの1時間降水量が30mm以上の日数の変化が掲載された。また、同計画の資料編では季節ごとの変化（桜の開花日の変化、真夏日の日数の変化、イロハカエデの紅葉日の変化、積雪量の変化）についての将来予測が県民に分かりやすく紹介されている。

また、小学生を対象とする環境教育を地球温暖化防止活動推進員が実施する際に利用する副読本「地球温暖化を止めるため家族みんなでチャレンジ¹⁷⁾」に研究成果が活用され、上述の季節ごとの変化について、図10に示すとおり小学4年生が理解できるよう、分かりやすく表している。

4.2 ウェブページによる情報発信

環境教育、情報収集等で県民に幅広く活用していただくため、当センターのウェブページに本研究の成果を紹介する特設のウェブページを開設している。

4.2.1 現在までに表れている温暖化傾向

現在までに表れている温暖化傾向¹⁸⁾について、2章で述べた知見を中心に、図の解釈等の簡単な説明を加えて掲載している。なお、一部はパネル化して、とやま環境財団等を通じて貸し出しており、県、市町村等が開催するイベント等で活用されている。

4.2.2 富山県近未来気候

富山県近未来気候¹⁹⁾については、3章で述べた近未来の温暖化予測情報を取りまとめて公開しており、例えば白馬岳上空や県民になじみの深い呉羽山展望台から見た立



図10 季節ごとの変化（副読本「地球温暖化を止めるため家族みんなでチャレンジ」に掲載）

山連峰の景観（雪の消長）が現在と近未来で変わる様子をアニメーションで表示できる（図11）。多雪年として、平成18年豪雪相当を設定し、近未来に同じ状況が再現された場合の雪景色と比較できるように工夫している。また、翌平成19年を想定した少雪年についても、同様に表示できる。そのほか、現在と比較して降水量、気温等の変化をGoogle マップの地図上に表示でき、利用者が縮

尺の変更や見たい地点の変更をマウス操作で容易に行うことが可能である（図12）。さらに、県内の主要河川の河川流量の現在と近未来の違いを折れ線グラフで表示する等、グラフや地図を利用して、多様なデータを視覚的に表示する機能を持たせた。このウェブページについては、地球温暖化防止活動推進員の養成講座等で説明しており、環境教育の現場での活用を図っている。



図11 呉羽山展望台から見た立山連峰と富山平野の雪の消長についてのアニメーション（富山県近未来気候より）

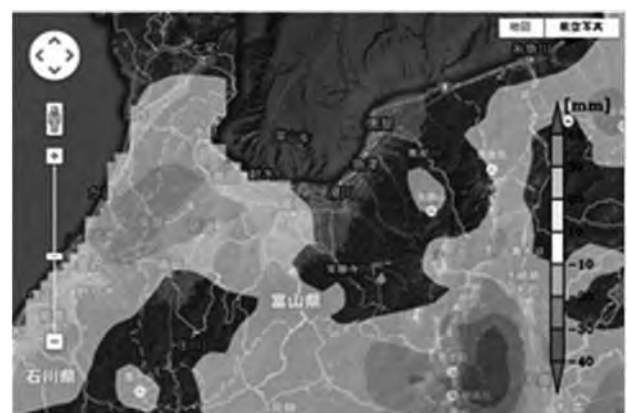


図12 Google マップ上に表示した6月降水量の将来変化（富山県近未来気候より）

5. 今後の展開

既に一部の分野では、夏期の高湿対策等について検討が進みつつあるが、今後は積雪期間等も含め、気候変化を全体的に捉えて、地球温暖化への適応策を各分野で検討していく必要がある。このため、本研究で取りまとめた温暖化影響に関する資料や予測情報の提供を行っていくことにしており、平成27年度には、県の各試験研究機関の温暖化に関する調査研究の状況と予測情報のニーズについてのアンケート調査²⁰⁾を実施し、予測情報の提供を行った。今後も連携について協議していく予定である。

また、温暖化により、豪雨が増大するとの報告²¹⁾もあることから、いわゆる極端気象現象の発生確率等と温暖化の関係について、知見の収集を進めていく。

6. 引用文献

- 1) 初鹿宏壮, 橋本淳一, 折谷禎一, 山崎敬久, 溝口俊明, 土原義弘, 木戸瑞佳, 中村篤博: 富山県における地球温暖化に関する調査研究(概要). 富山県環境科学センター年報, 76-77, 2007
- 2) Hatsushika, H., R. Kawamura, K. Kawasaki, M. Kido, T. Kondo, T. Mizoguchi, T. Nakamura, T. Oritani, Y. Tsuchihara and T. Yamazaki: Changes in surface air temperature, humidity, and precipitation over Toyama Prefecture due to Global Warming. *Journal of Eco-technology Research*, **14**, 189-194, 2009
- 3) 初鹿宏壮, 川崎清人, 近藤隆之, 林豊治, 万尾和恵, 木戸瑞佳, 土原義弘: 富山県における地球温暖化に関する調査研究－富山県内における冷暖房使用量の変化－. 富山県環境科学センター年報, 81-88, 2009
- 4) 源将, 初鹿宏壮, 相部美佐緒, 近藤隆之: 富山県における地球温暖化に関する調査研究－富山県内における不快指数の変化－. 富山県環境科学センター年報, 67-71, 2012
- 5) 富山県: 富山県積雪調査資料, 富山県, 1973
- 6) 日本気象協会富山支部編: 富山県降積雪及び気温観測調査報告書(昭和49年), 1975
- 7) 富山県・日本気象協会編: 富山県降積雪及び気温観測調査報告書(II～), 1976～
- 8) 初鹿宏壮, 川崎清人, 折谷禎一, 近藤隆之, 溝口俊明, 土原義弘, 木戸瑞佳, 中村篤博: 富山県における地球温暖化に関する調査研究－県内の降雪に関する調査－. 富山県環境科学センター年報, 75-80, 2008
- 9) 水沼登志恵: 絶滅危惧種ライチョウの衣食住から考える-温暖化が高山生態系に与える影響. 地球環境研究センターニュース, **26**, 9-12, 2015
- 10) 初鹿宏壮, 源将, 相部美佐緒, 近藤隆之, 鈴木智博, 和田直也, 川田邦夫, 飯田肇: 立山室堂周辺における融雪調査(概要)－室堂山(北側斜面)における消雪時期と植生との関係－. 富山県環境科学センター年報, 73-75, 2013
- 11) 文部科学省: 気候変動適応研究推進プログラム, [https://www.restec.or.jp/recca/\(2017.1.1\)](https://www.restec.or.jp/recca/(2017.1.1))
- 12) Taylor, K. E., R. J. Stouffer and G. A. Meehl: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of American Meteorological Society*, **93**, 485-493, 2012
- 13) 富山県: 富山県内の熱中症による救急搬送状況, http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1007/kj00016883.html (2017.1.1)
- 14) 初鹿宏壮, 源将, 相部美佐緒, 近藤隆之, 川瀬宏明, 木村富士男: 富山県におけるWBGT指数の将来予測. 富山県環境科学センター年報, 76-82, 2013
- 15) 初鹿宏壮, 相部美佐緒, 笹島武司, 馬燮銚, 川瀬宏明, 吉兼隆生, 宇野史陸, 鈴木智恵子, 石崎紀子, 木村富士男: 富山県における温暖化に関する調査研究(Ⅲ)－富山県の気候の近未来予測－. 富山県環境科学センター年報, 74-79, 2015
- 16) 富山県: とやま温暖化ストップ計画, http://www.pref.toyama.jp/cms_pfile/00000856/00783391.pdf (2017.1.1)
- 17) 富山県, とやま環境財団, 富山県トラック協会: 地球温暖化を止めるため家族みんなでチャレンジ. http://www.pref.toyama.jp/cms_pfile/00003460/00927140.pdf (2017.1.1)
- 18) 富山県環境科学センター: 温暖化に関連している可能性がある事象, <http://www.eco.pref.toyama.jp/ondanka/ondanka.html> (2017.1.1)
- 19) 富山県環境科学センター: 富山県近未来気候, <http://www.eco.pref.toyama.jp/kinmirai/> (2017.1.1)
- 20) 初鹿宏壮, 相部美佐緒, 小林史明, 九澤和英: 富山県における地球温暖化の影響に関する調査研究－近未来の気候変化予測結果の提供－. 富山県環境科学センター年報, 74-77, 2016
- 21) 文部科学省, 気象庁, 環境省: 日本の気候変動とその影響. 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート2012年度版, https://www.env.go.jp/earth/ondanka/rep130412/pamph_full.pdf (2017.1.1)