

<報 文>

## 長期再解析データを用いた気候変動に関する研究\*

—極端気象発生日における大気場の特徴について—

初鹿宏壮\*\*・浦谷一彦\*\*

キーワード ①地球温暖化 ②極端気象 ③気象災害 ④長期再解析データ ⑤コンポジット解析

### 要 旨

現在までの地球温暖化により、すでに極端気象が増加してきていると言われており、今後の進行により更なる増加が懸念されている。本研究では、テキストマイニングにより富山県の過去の災害発生日から気象との関連性を探るとともに、過去の強風と大雪に関する災害発生日及びその前後の大気場について長期再解析データを用いたコンポジット解析を実施した。テキストマイニングからは、本県における大雨、強風、大雪などによる災害に関係が深い語句を抽出した。また、コンポジット解析からは、極端な強風が日本列島の南西から北東へ通過する台風によりもたらされたこと、富山県全域で大雪となった際には、上空の寒気及び日本海上に低気圧が入り込み、JPCZが北西から入り込むなどの特徴が見られた。

### 1. はじめに

国の気候変動適応計画<sup>1)</sup>では、自然災害、健康影響等への適応策に資する調査研究の必要性を掲げており、2020年から富山県気候変動適応センターの役割を担う当センターとしても、これらに関する研究を進めている。

本研究では、富山県内で発生した過去の自然災害について理解を深めるため、災害資料や天気図から発生日の気象の特徴を探るとともに、長期再解析データを用いた解析を実施することにより、災害をもたらす極端な強風や大雪など（以後、極端気象と呼ぶ）が発生する要因の解明を目指す。

長期再解析データとは、平年値の作成、過去から現在に至る気候変動の解析等に利用するため、長期間にわたる気圧や気温等の3次元的な構造を再現したデータセットである。気象庁では、日々の予報業務のための3次元データ（客観解析データという）を作成しているが、その時々で最新の予報モデルに切り替えるほか、解析手法の改善や空間解像度の向上などが進められており、気候研究には適していない。

一方で、再解析データは過去数十年の3次元データセットを作り直すにあたり、数値予報及び解析に用いる手法の固定により一貫性を保つことで、観測データ以外の要

因による影響を小さくするとともに、定時の予報に間に合わなかった観測資料の追加や観測データの品質管理（データの取捨選択や修正等）を徹底することで、気候の再現精度を向上している。なお、このようなデータは欧米などの気象局でもいくつか作成されているが、本研究では、気象庁の現業モデルをもとに、台風の再現性を高めた<sup>2)</sup>JRA-55長期再解析データ<sup>3)</sup>の利用を考えた。ただし、空間解像度が55kmであり本県の地域を解析するには粗すぎるため、気象庁がJRA-55を境界条件として日本付近のみを5kmの解像度で再計算したJRA-55領域再解析データ（DSJRA-55）<sup>4)</sup>を用いることとした。解析に使用できる期間は1958年から2012年の55年間である。

本研究では、過去の災害発生日における日本付近の気圧や気温等の特徴を把握するとともに、今後の温暖化に伴う極端気象への影響を予測する予定であり、本稿では、特徴の把握方法とその解析結果について報告する。

### 2. 災害と気象の関連性の解析

災害と気象の関係性を整理する足掛かりとして、既存資料の収集と整理を行った。気象庁等では、1996年以降の日々の天気図<sup>5)</sup>を公開しており、そこには当日の天気についての短い解説が記載されている。また、県内の地

\*Research on climate change using long-term reanalysis data

\*\*Hiroaki HATSUSHIKA, Kazuhiko URAYA (富山県環境科学センター/富山県気候変動適応センター) Toyama Prefectural Environmental Science Research Center/ Toyama Prefectural Climate Change Adaptation Center

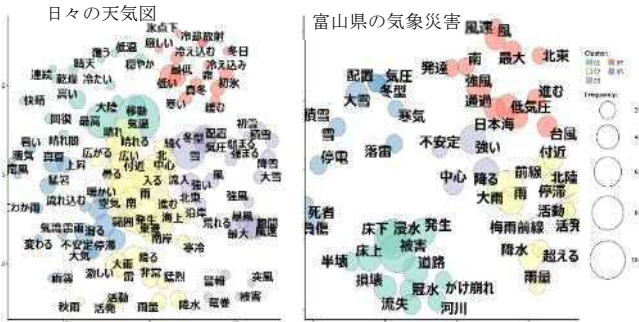


図1 KHコーダーによる関連性の分類

域防災計画<sup>6)</sup>には、100年以上も昔からの災害、被害状況、当時の気象の特徴が記録されている。

そこで、これらの文書から日々の気象と関係する事象を抽出することとし、テキストマイニング用のフリーソフトであるKHコーダー<sup>7)</sup>を用いた解析を行った。KHコーダーとは、任意の文章からそこに含まれる単語や文節の出現頻度、単語の出現タイミングの相互関係性（関連性が高ければ分布図の近い位置に表示される）などを解析することができるソフトである。なお、使用した分析はKruskalの非計量多次元尺度構成法であり、語句間の関連性はJaccard係数、乱数を初期値とした最適化手法を採択し、日々の天気図や地域防災計画に書かれた文字列の関連性を探った。また、解析を始めるにあたり、地名など、あらかじめ災害と気象の関係について解析をするうえで関連性の低い語句を除外する処理を施したうえで、文字列の関係を大きく5グループに分類した。

結果は図1に示すとおりであり、日々の天気図からは、100あまりの語句が抽出され、そのうち真冬・放射・冷却・冷え込み・初氷、猛暑・南風・不安定・雷雨などが関連性の高いことが確認できた（図1左）。また、地域防災計画の記録からは、気象災害に関連する50あまりの語句が抽出され、強風には日本海・低気圧・台風など、大雪には冬型・寒気・気圧・配置、大雨には梅雨前線・活動・活発などがそれぞれ関連性の高いことが確認できた（図1右）。

次に、上記のうち、地域防災計画から抽出された語句から気象に直結する20語句を選択し、原因（台風、低気圧など9語句）と結果（強風、波浪など11語句）に分けて、個々の災害記録について、原因として語句が書かれた際に各結果がもたらされた割合（出現割合）と、結果が発生した際に原因が影響した割合（影響割合）を解析した。

表1及び表2からは、例えば、原因として梅雨前線という語句があった場合に結果として大雨が記載されるのは93%あるのに対して、大雨の原因が梅雨前線であるのは35%しか確認できない（緑色の囲い）。同様

表1 原因別の結果の出現割合

原因	結果										
	強風	波浪	乾燥	大雨	日照	崖崩れ	地すべり	低温	大雪	着雪	融雪
台風	55%	18%	0%	53%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%
低気圧	32%	11%	4%	42%	0%	7%	4%	2%	11%	2%	11%
梅雨前線	4%	0%	0%	93%	4%	7%	4%	4%	0%	0%	0%
冬型	9%	9%	0%	5%	0%	5%	0%	5%	77%	18%	5%
フェーン	67%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%
発達	45%	18%	6%	9%	0%	3%	0%	3%	21%	6%	9%
上陸	100%	43%	0%	64%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
寒気	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	67%	17%	0%
日本海	39%	7%	4%	41%	0%	7%	2%	2%	9%	0%	7%

表2 結果別の原因の影響割合

結果	原因								
	台風	低気圧	梅雨前線	冬型	フェーン	発達	上陸	寒気	日本海
強風	57%	49%	3%	5%	11%	41%	38%	0%	49%
波浪	54%	46%	0%	15%	0%	46%	46%	0%	23%
乾燥	0%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%
大雨	27%	32%	35%	1%	0%	4%	12%	0%	26%
日照	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
崖崩れ	0%	67%	33%	17%	0%	17%	0%	0%	50%
地すべり	13%	25%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	13%
低温	0%	20%	20%	20%	0%	20%	0%	0%	20%
大雪	0%	23%	0%	65%	0%	27%	0%	15%	15%
着雪	0%	25%	0%	100%	0%	50%	0%	25%	0%
融雪	0%	100%	0%	17%	33%	50%	0%	0%	50%

に、寒気が入り込んだ際に大雪となるのは67%あるのに対して、大雪の原因として寒気が記載されるのは15%しか確認できない（水色の囲い）。

これらの解析により、強風や大雨が上陸した台風や日本海上で発達した低気圧、大雪が冬型、低気圧の発達、寒気などと密接に関係して災害に結びついていることが確認できた。なお、大雨については、ハザードマップの作成や堤防の整備などの対策が進んでいることから、今回の解析では対象とせず、以後は、大雨に比べて対策が遅れている強風、大雪について解析する。また、北陸の大雪について、山雪や里雪などに場合分けをした解析は例えば藤田<sup>8)</sup>や舟田<sup>9)</sup>など多数あり、本研究はそれらの解析を参考とする。

### 3. 極端気象の日における大気場の解析

#### 3.1 極端気象の日の特定

本県において発生した極端気象とそれに影響したと思われる気圧等の大気場との関係を解析するにあたり、極端気象の日を選定することとした。期間はDSJRA-55の全期間（1958～2012年）とし、その期間で得られる気象庁のアメダス等の地上観測データ<sup>10)</sup>から風速の1時間値、初鹿<sup>11)</sup>の解析に用いた本県の降積雪に関する観測資料から日降雪量を抜き出し、解析に利用した。また、強風と

表3 強風、大雪の極端気象の日の閾値と事例数

	対象	閾値	事例数
強風	最大風速	20m/s	11事例（台風8事例，爆弾低気圧3事例）
	瞬間最大風速	35m/s	
大雪	日降雪量 (地点別に上位50位まで)	50cm	呉東平野：64事例
			呉西平野：33事例
			呉東山岳：143事例
			呉西山岳：46事例

大雪について、災害発生の可能性の高さを考慮に入れて閾値を定めた。

表3に示すとおり、まず、強風についての閾値は最大風速が20m/s以上または瞬間最大風速が35m/s以上とし、県内で1か所でも満たした日を対象とした。解析の結果、抽出されたのは11事例であり、過去の天気図等から当日の大気場を確認したところ、8事例が台風上陸によるもの、3事例が急激に発達する低気圧（爆弾低気圧）の通過によるものであることが分かった。

また、大雪についての閾値は日降雪量50cm以上とし、県を平野部と山岳部、県中央にある呉羽山を境に東部と西部で計4地域（呉東平野部、呉西平野部、呉東山岳部、呉西山岳部）に分けた上で、地域別に2か所以上で基準を満たした日をそれぞれ極端気象の日とした。なお、山岳部は標高200m以上の観測地点を対象としたところ、大雪となる日が多いため、各地点で上位50位までの降雪日のみを対象とした。

その結果、呉東平野部で大雪になったのは64事例、呉西平野部では33事例、呉東山岳部では143事例、呉西山岳部では46事例であることが分かった。呉東山岳部は3,000m級の山々が連なる立山連峰を含んでおり、他の地域と比較して事例数が非常に多くなっている。

### 3.2 極端気象の日及び前後のデータ取得

極端気象の日の気象を解析するにあたり、極端気象の当日及びその前後それぞれ5日間の計11日間について、地球環境ビッグデータ（観測情報・予測情報等）を蓄積・統合解析し、気候変動等の地球規模課題の解決のために提供している情報システム（DIAS）<sup>12)</sup>からDSJRA-55のデータを取得した。また、DSJRA-55に含まれる降雪量、地上10mの風速（以後、地上風と呼ぶ）、海面レベルに更正した（地上天気図で描かれる）気圧（以後、海面更正気圧）、上空500hPaの等気圧面におけるジオポテンシャル高度（以後、500hPa高度）などの要素を6時間ごとで1日につき4回分のデータを切り出した。なお、11日間は台風や高低気圧が日本付近を移動・通過するのに十分な期間であり、平均値はその時期の平均的な気圧配置（平均場）と見ることができる。

また、強風についての解析を行うため、台風及び爆弾低気圧の日々の経路についての情報<sup>13), 14)</sup>を収集すると

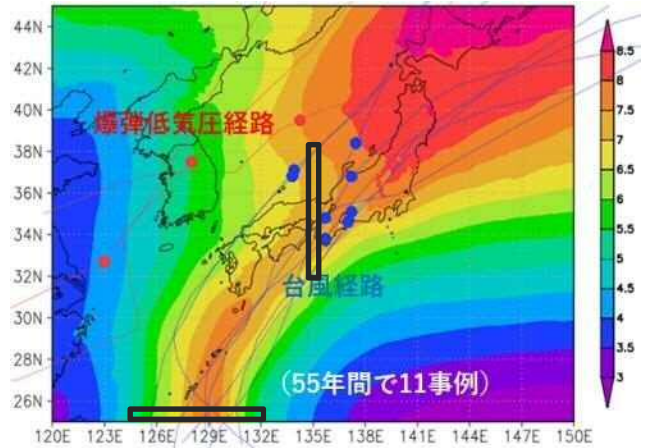


図2 海面更正気圧の変動幅と中心気圧の経路

ともに、情報が得られなかった日については、過去の天気図<sup>15)</sup>を解読することで台風や爆弾低気圧の中心位置を解析し、経路を確認した。

### 3.3 極端気象の解析（強風）

強風については、各々の極端気象の日において、強風日とその前後5日間合わせて11日間で1日4回（一つの強風事例につき44回分）のデータを用いて、期間中の海面更正気圧の平均値を求めた。そのうえで、求めた平均値からの差（平均から正や負にどれくらいずれているか：偏差）の2乗を求めた。これは、平常時の大気場から正負関係なくどれだけ変動したかを表しており、値が大きく解析される場所を台風や高・低気圧の経路と推定することができる。

図2は、この解析を強風の11事例についてそれぞれ行った後に、全事例を平均することで合成（以後、コンポジット解析と呼ぶ）したものである。なお、気圧の変動が大きな場所を暖色で、変動が小さな場所を寒色で示すとともに、実際の台風や爆弾低気圧の経路を図中に重ねることで関係性を明らかにした。

その結果、台風の経路と南西諸島から東北に抜ける暖色系の帯はよく一致しており、極端気象の日（本県で強風となった日）の位置は、強風域が中心付近にある台風については中部から近畿に中心気圧が位置すること、爆弾低気圧は前線を持つことから、日本から離れた位置に中心気圧があるなどの特徴が明らかになった。なお、期

表4 図2と同様な経路をたどった台風

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	合計
経路通過	5	11	6	15	29	8	74
強風事例	0	0	0	0	5	3	8
割合	0%	0%	0%	0%	17%	38%	11%

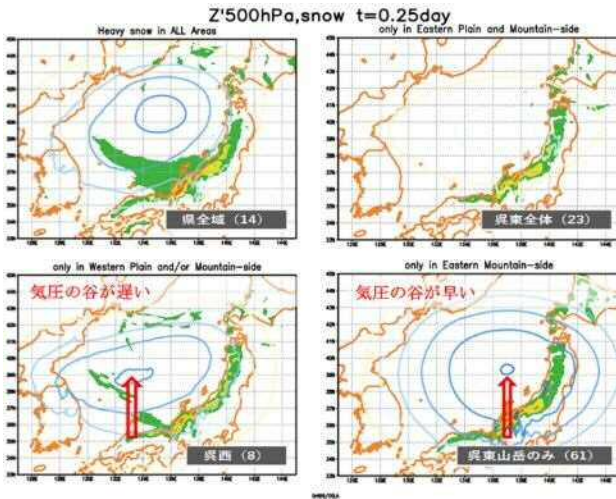


図3 500hPa高度(コンター)と降雪量(シェード)

間中の全ての台風(1452個)を確認したところ、表4に示すとおり、同様の経路(図2の2つの黒枠。北緯25°を東経125°と132°の間を北上し、東経135°を北緯32°から39°の間を東進)をたどったのは74個であり、8月と9月に通過しやすくなっている。また、極端気象(強風事例)をもたらしたのは9月と10月に通過した8個であった。さらに、経路通過に対する強風事例の割合を求めたところ、強風の割合が高かったのは10月(38%)、合計では11%であった。

### 3.4 極端気象の解析(大雪)

大雪については、冬季の天気予報でおおよそ取り上げられる3つの項目(西高東低の冬型、上空の寒気(気圧の谷)、日本海寒帯気団収束帯(JPCZ))の影響を確認するため、それぞれ冬型の目安として海面更正気圧、気圧の谷の目安として500hPa高度及びJPCZの目安として地上風の強さと収束について、同様にコンポジット解析を行った。

なお、地域別の大雪を検討するため、表3に示したとおりに県を4地域でそれぞれ取りまとめたが、地域間の差を明確に示すため、4地域すべてで大雪(県全域:14事例)、呉西の平野部か山岳部または双方ともで大雪(呉西:8事例)、呉東の平野部と山岳部の両方で大雪(呉東全体:23事例)及び呉東山岳部のみで大雪(呉東山岳のみ:61事例)の各事例に分けて結果を示すこととした。

図3は、大雪日における500hPa高度であるが、上空の高低気圧は波として現れることが多いため、強風の解析と同様に、まず11日間平均からの偏差を求め、位相を明瞭化したうえでコンポジット解析を行った。その結果、呉西で大雪になるケースでは、偏差(気圧の谷)は中国地方の北方にあり、呉東山岳部で大雪になるケースでは、気圧の谷が本県の北側まで進んでいることが確認できた。

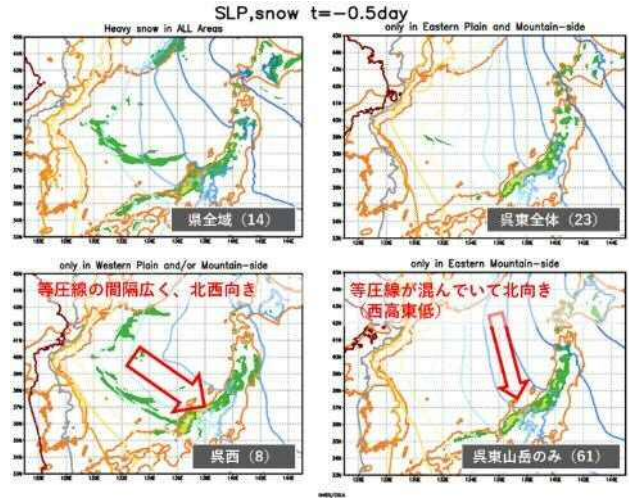


図4 海面更正気圧(コンター)と降雪量(シェード)

また、上空の気圧の谷は、呉西の大雪と比べて呉東山岳部の大雪の方が深くなっていること、呉東山岳部で大雪となる場合は上空の寒気の入り込みが早くなることが併せて確認できた。

図4は、大雪前夜の海面更正気圧である。地上天気図との類似性を確保するため、時間平均からの偏差ではなく、海面更正気圧自体をコンポジット解析した。その結果、県全体や呉西で大雪となる場合は、呉東全体や呉東山岳のみで大雪となった事例と比べて、海面更正気圧の縦に延びる等圧線の数が少なく、線の間隔も広がっている。

また、特に呉西で大雪となった事例では、北陸付近の日本海上で等圧線が北西から南東に向いており、日本海に低気圧が入り込んでいる状態と推定できるが、この形状は呉東山岳のみで大雪が降る気圧配置(等圧線が北から南に向き等圧線の間隔も狭い)、いわゆる西高東低の気圧配置と形状と大きく異なっている。

最後に図5は、大雪当日の地上風の強さと向きを示している。一般的に、日本海側で降雪が観測される状況では、

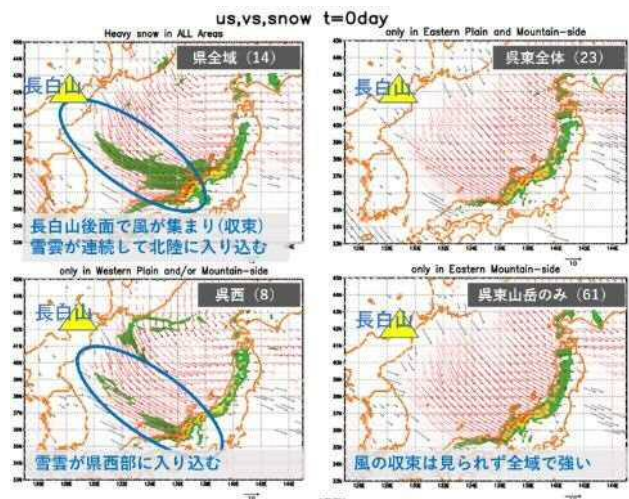


図5 地上付近の風(矢印)と降雪量(シェード)

衛星画像で北西方向から延びる筋状の雲が確認でき、北西から南東に向けた風（北西風）が卓越する。図5においても、全ての図で北西風が卓越していた。

これを踏まえた上で大雪のパターン別に見てみると、呉東全体や呉東山岳のみで大雪となった事例では、北西風が中国地方から北海道付近まで広範囲にわたっており、一様に強い。また、日本海の海上で風の収束や降雪域は確認できない。

一方で、県全体や呉西で大雪となった事例では、長白山の風下で風の収束が見られ（青枠）、日本海上で雪雲（JPCZ）が発達し、そのまま北陸地域に延びていた。県全域で大雪の事例では、JPCZが石川県から新潟県まで広く入り込んでおり、呉西で大雪となった事例では、石川県側から県西部のみに入り込んでいた。また、日本海の強風の範囲は他の2事例と比較して狭くなっていた。

これらのことから、呉東に大雪をもたらすのは、西高東低の気圧配置が強まったときであり、特に山岳部で大雪となった事例では、上空の気圧の谷が早い段階で東進したときであることが確認できた。また、呉西で大雪となるケースでは、西高東低は弱まるものの上空の気圧の谷を伴う低気圧の入り込みがあり、日本海で発達したJPCZが石川県側から県西部に入り込むとき、県全域で大雪となる事例では、呉西で大雪となるケースに対して、JPCZの発達域が広く、北陸全体に入り込むときであることが確認できた。

#### 4. まとめと今後の方向性

本報告では、地球温暖化が富山県における極端気象へ与える影響を解析する前段階として、過去から現在までの極端気象に対してテキストマイニングやコンポジット解析を実施した。テキストマイニングでは、地域防災計画から災害記録を抜き出し、災害発生日の記録と併せて記録された過去の気象情報から極端気象との関係を解析したところ、大雨や強風が上陸した台風や日本海上で発達した低気圧、大雪が冬型、低気圧の発達、寒気などと密接に関係して災害に結びついていること、梅雨前線は大雨をもたらすが、大雨の原因は必ずしも梅雨前線ではないことなどが確認できた。

また、コンポジット解析では、強風と大雪に絞って、過去の極端気象の日及びその前後における地上気圧等の卓越的な大気場を図示した。強風については、台風の経路と時期に特徴が見られ、特に9月と10月に南西から入り込む台風が本県に強風をもたらしたことが、大雪については、500hPaの高度、海面更正気圧、地上風の特徴が県内の地域によってそれぞれ異なることが確認できた。

本報告においては、対象期間が2012年までであり、近年発生した災害級の大雪などの極端気象の期間は含まれて

いない。このことから、現在、国の研究機関等の研究グループ（気候変動予測先端研究プログラム<sup>16)</sup>）に参加し、近年を含めた領域長期再解析データを用いて、コンポジット解析を再計算するとともに、大雪をもたらす大気場の分類及び各大雪の数日前からの予測可能性の差異を調べるため、自己組織化マップ<sup>17)</sup>を用いた解析等を実施しているところである。

また、同研究グループでは、温暖化後の気温や気圧などを予測した大規模データを作成しているところであり、これを活用して、将来における強風や県内地域別の大雪の増減についても予測していく予定である。

#### 5. 引用文献

- 1) 環境省：気候変動適応計画（令和3年10月）  
<https://www.env.go.jp/content/900449799.pdf>  
（2022.12.10アクセス）
- 2) Hatsushika, H., J. Tsutsui, M. Fiorino and K. Onogi: Impact of wind profile retrievals on the analysis of Tropical Cyclones, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **84**, 891-905, 2006
- 3) Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka and K. Takahashi: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **93**, 5-48, 2015
- 4) Kayaba, N., T. Yamada, S. Hayashi, K. Onogi, S. Kobayashi, K. Yoshimoto, K. Kamiguchi, and K. Yamashita: Dynamical Regional Downscaling Using the JRA-55 Reanalysis (DSJRA-55). *SOLA*, **12**, 1-5, 2016
- 5) 気象庁：日々の天気図,  
<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>（2022.5.10アクセス）
- 6) 富山県：富山県地域防災計画,  
<https://www.pref.toyama.jp/1900/bousaianzen/bousai/chiikibousai/kj00004459/index.html>（2022.6.11アクセス）
- 7) 樋口耕一：『社会調査のための計量テキスト分析 — 内容分析の継承と発展を目指して — 第2版』ナカニシヤ出版、京都、2020
- 8) 藤田敏夫：北陸地方の里雪と山雪時における総観場の特徴, *天気*, **13**, 359-366, 1966
- 9) 舟田久之：富山県の降雪分布, *天気*, **40**, 243-253, 1993

- 10) 気象庁：気象庁ホームページ，  
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2022. 5. 10アクセス)
- 11) 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，**36**，75-80，2008
- 12) 地球環境データコモンズ：データ統合・解析システム (DIAS) : <https://dias.jp.net/> (2022. 12. 10アクセス)
- 13) 気象庁：太平洋台風センター，  
[https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/RSMC\\_HP.htm](https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/RSMC_HP.htm) (2022. 5. 10アクセス)
- 14) 九州大学：メガストーム情報データベース，  
<http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/> (2022. 8. 3アクセス)
- 15) 国立情報学研究所：デジタル台風，100年天気図データベース，<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/weather-chart/> (2022. 8. 3アクセス)
- 16) 海洋研究開発機構：気候変動予測先端研究プログラム，<https://www.jamstec.go.jp/sentan/> (2022. 12. 10アクセス)
- 17) 古川徹生：自己組織化マップ，脳科学辞典，DOI:10.14931/bsd.9976，  
<https://bsd.neuroinf.jp/wiki/自己組織化マップ> (2022. 10. 1アクセス)