

<解説 (原著)>

中山間地域の流域における人・森林・気象災害の現状と関わり： 高山市大八賀川流域における豪雨・豪雪を事例として

永井 信* **, 丸谷靖幸***, 斎藤 琢**

**Current conditions and relationships among human beings, forests, and weather disasters
in a mesomountainous river basin:
A case study of torrential rains and heavy snowfall in the Daihachiga River Basin in Takayama**

NAGAI Shin* **, Yasuyuki MARUYA *, Taku M SAITOH****

*Earth Surface System Research Center, Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0001, Japan

**River Basin Research Center, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

***Graduate School of Engineering, Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

Abstract

In Japan, areas near rural settlements in hilly and mountainous regions are often called mesomountainous areas. The relationship between humans and the ecosystem in mesomountainous river basins in Japan has changed as these areas are increasingly confronted with the impacts of climate change (e.g., an increase in extreme and abnormal weather events). In this study, we reviewed current conditions and relationships among human beings, forests, and weather disasters in the Daihachiga River Basin in Takayama, Gifu Prefecture. Specifically, we looked at spatio-temporal changes in the weather and forests during torrential rain (July 2020) and heavy snow (17 December 2014) events that were described with the aid of continuous in-situ observations and social statistics by local authorities and scientists. However, in a mesomountainous river basin such as this, which is experiencing both population decline and increasing disaster risk, more detailed and labor-intensive online monitoring is required. With this need in mind, we summarized the usability of (1) observation data obtained from unmanned sensors; (2) advanced remote-sensing observations by drones and satellite sensors with high spatio-temporal resolution; and (3) information from citizens on the Internet (social sensing), for example, information gained through Google Trends, Twitter, and Mapillary. We identified the following three important tasks for future study: (1) integration and mapping of various observation data and information; (2) analysis and evaluation to connect past, present, and future; and (3) the identification of a future vision of the river basin that includes dialogue with relevant stakeholders.

Keywords: Daihachiga River Basin, extreme weather event, forest ecosystem, mesomountainous regions, remote sensing; social sensing

*国立研究法人海洋研究開発機構・地球環境部門・地球表層システム研究センター 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25

**岐阜大学・流域圏科学研究センター 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

***九州大学・大学院工学研究院環境社会部門 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

1. はじめに

近年の気候変動に伴う極端気象や異常気象の増加は、我が国において、未曾有の災害を引き起こし、人々の生命や財産を脅かしている。気候変動が人類や生態系に対して及ぼす影響は、今世紀末には全球平均で気温が 0.3°C~4.8°C 上昇する可能性を指摘した気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）：第 5 次報告書（AR5）¹⁾において報告されている。例えば、我が国では、全国のアメダスにおける、1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数は、1976 年から 2020 年において、29.2 回/10 年増加した（信頼区間 99%）²⁾。また、2011 年から 2020 年における平均年間発生回数（約 334 回）は、1976 年から 1985 年における平均年間発生回数（約 226 回）と比べて、約 1.5 倍増加した²⁾。これらの結果、1989 年から 1998 年に発生した土砂災害の年平均は 945 件であったのに対して、2009 年から 2018 年に発生した土砂災害の年平均は 1,328 件へと増加した³⁾。まさに我々は、「気候危機」⁴⁾に直面している。

特に、近年、人と生態系の関わりが極端に低下している「中山間地域」の流域では、気象災害に対する脆弱性は極めて深刻な状況である。食料・農業・農村基本法第 35 条によれば、中山間地域は、「山間地及びその周辺の地域その他の地勢等の地理的条件が悪く、農業の生産条件が不利な地域」として規定される⁵⁾。2015 年において、中山間地域は、日本の総土地面積の 73% (2,741 万 ha)、人口の 11% (1,420 万人)、耕地面積の 41% (184 万 ha) をそれぞれ占めた⁵⁾。中山間地域の流域には森林が広く分布し、国土の保全や水源の涵養など多面的な機能を有している。日本人と森林の関わりを紐解くと、かつては深刻な森林消失の時代（飛鳥から平安時代中期・戦国時代の終焉後・明治時代と太平洋戦争中、および戦後）があった⁶⁾。これに対して、我々は現在、非常に豊かな森林資源を有している。この主たる要因は、恵まれた温暖湿潤な気候条件、戦後の積極的な造林、外国産の安い木材の輸入、および建材や燃料としての需要の低下による林業の衰退にある⁶⁾。しかしながら、山腹斜面のほぼ全部が成長した樹木で覆われている現在の森林では、山腹崩壊が発生すれば必ず流木が生じる可能性がある⁷⁾。灌木にわずかな高木が混じる林相であった、かつての森林では生じえなかった事態である⁷⁾。

中山間地域の流域では、近年の社会構造の変化（過疎化や少子高齢化）と気候変動により、人と生態系の関わりが不安定なものへと変化している。この仕組みは、様々な自然的・社会的な因子が相互に影響を与えるフローから成立している。筧（2019）⁸⁾は、地域において様々な問題が生じる負の連鎖構造を「持続可能な開発目標（SDGs）」の各目標に紐づけて整理した。中山間地域の流域における問題は、筧が提唱する「環境破壊ループ」として次の 7 項目により説明される。すなわち、①地場産業の衰退（農業・林業・観光業他）により耕作放棄地や荒れた林地が増加し、里山（森・水）の環境を悪化させる。②地域内の人口減少は、空き家・空き地・耕作放棄地の増加の原因となる。③地域内の消費の減少は、エネルギー消費や廃棄物増加を促し、公共交通を減少させる。④管理が行き届かない農地や森林は、温室効果ガスの吸着効率を悪くする。⑤上述④の状況は、温室効果ガスを増加させ、気候変動に影響を与え、ゲリラ豪雨や猛暑など異常気象を引き起こす。⑥異常気象は、自然災害の被害を増加させ、地場産業をさらに衰退させる。⑦里山の荒廃は、動植物の生物多様性を低下させ、地域の魅力の低下と地場産業の衰退を招く⁸⁾。

本稿は、近年、豪雨と豪雪に見舞われた、典型的な中山間地域である、岐阜県高山市の大八賀川（だいはちがわ）流域を対象に、人・森林・気象災害の現状と関わりをまとめ、問題解決を促すための新たな観測データや情報の有用性と課題点、および将来展望を議論する。

2. 大八賀川流域における人・森林・気象災害の現状と関わり

2.1 流域の概要と現状

大八賀川流域（以後、流域と記述）は、日本で最大の面積を有する岐阜県高山市（約 2,178km²）⁹⁾の中心市街地より東に位置する（Fig.1(a)）。大八賀川は、神通川水系の一级河川であり、高山市三福寺町において宮川と合流し、富山県では神通川となって富山湾へ注ぐ。上流から順に生井川・米溪川・元服川・山口川の支流と合流する。流域面積は 60.4km²、集水面積は 21.1km²、流路延長は約 20km である¹⁰⁾。流域は、高々 15km の水平距離の範囲において、西の海拔 590m から東の海拔 1,595m へと急激に標高が高まる山岳地形である（Fig.1(b)）。流域の南側に位置する河川は飛騨川水系であり、木曾川へ合流し伊勢湾へ注ぐ。中流の大

島町において、治水を目的とした大島（おおじま）ダムが計画中である¹⁰⁾。

流域の主な植生は、上流域：落葉広葉樹林・カラマツ林・草地（スキー場・牧場）、中流域：スギやヒノキの植林地（常緑針葉樹林）・落葉広葉樹林、下流域：植林地・水田・畑である（Fig.1(c); JAXA: 高解像度土地利用土地被覆図 ver.16.09¹¹⁾・¹²⁾）。特に、南斜面では落葉広葉樹林、北斜面ではスギ・ヒノキの植林地が広く分布する（Fig.1(b,c)）。流域を含む高山地区には、国有林はなく、民有林の針葉樹の人工林が 40.4%、民有林の針葉樹の天然林が 14.5%、民有林の広葉樹の天然林が 41.7%をそれぞれ占める（Table 1）⁹⁾。

Table 1. Forest composition in Takayama as of March 2019⁹⁾.

	Total area (ha)	Privately owned forest (ha)					State forest (ha)
		Planted forest		Natural forest		Others	
		Conifer	Broadleaf	Conifer	Broadleaf		
Takayama area	9,726	3,933	12	1,408	4,056	316	0
Whole city	119,688	45,301	138	8,747	60,141	5,358	80,411

流域は、旧大野郡大八賀（おおはちが）村の領地であり、1955年に高山市へ編入された⁹⁾。流域の歴史は古く、漆垣内町（うるしがいとまち）には、少なくとも平安時代から鎮座する四天王神社と、豊臣秀吉の命を受け三木氏を攻略し飛騨を平定した（1585年）、金森長近が入国の際に築城した鍋山城跡、三福寺町（さんふくじまち）には、保延から治承（1135～1181年）にかけて平家が在城した三仏寺城跡がある^{13,14,15,16)}。

居住域は、下・中流域に分布する（海拔 560～約 800m）（Fig.1(c)）。高山市の総人口は、2020年3月31日現在、86,905人であるのに対して、流域の人口は、7,878人であった。山口町を除き、2005年から2020年に人口減少が広域的にみられた。特に、中流の3町（滝・岩井・大島）における、人口減少率は30%を超えた（Fig.1(d)）¹⁷⁾。ただし、人口減少率は、厚生労働省大臣官房統計情報部（2010）¹⁸⁾を参照し、補正した。流域の小学校（3校）と中学校（1校）の児童生徒数は、2016年度の736人と383人から2020年度の668人と316人へ、それぞれ減少した⁹⁾。

2.2 人と森林の関わり

高山市を含む飛騨地方では、金森氏により熱心な林業経営が行われ、多くの木材が飛騨川・馬瀬川・宮川・庄川を川下りで送られた¹⁹⁾。また、金森氏の出羽国への転封と江戸幕府による直轄地化（1692年）以降も¹⁴⁾、荒廃の進んだ飛騨国内の山林に植樹令が出される（1721年）など、林政は重視された^{13), 20)}。明治時代には、流域に村営苗圃が設置され、植林が奨励された¹³⁾。

全国土地利用データベース Web 版（LUIS Web）の画像データ（土地利用図）^{21), 22), 23), 24)}によれば、近世末（1850年頃）・明治/大正期（1900年頃）では、流域は広葉樹林が広く分布した。その後の1955年に撮影された空中写真によれば、流域の中・上流域では、非森林が広範囲に分布したことが見てとれる²⁵⁾。これは、第二次世界大戦中および戦後の必要物資や復興用資材として伐採された影響と考えられる。その後、戦後の国策として全国的に推進された拡大造林（植林事業）²⁶⁾に関連して、スギ・ヒノキ・カラマツ等の人口林が増加し、昭和中期（1950年頃）では、広葉樹林の減少と混交樹林の増加が見られた。昭和末期（1985年頃）では、流域は混交樹林が広く分布した。このように、現在、流域に分布する森林は、戦後に成立した二次林と植林地であると推測される。この推測は、流域の上流と中流にそれぞれ位置する、落葉広葉樹林とスギ・ヒノキの植林地の生態系観測サイト²⁷⁾における林齢は、それぞれ約40年と約70年であることを示した年輪年代学的手法の結果^{28), 29)}により支持される。

近年では、林業の活力はかなり低下している。高山市の全産業の従業者数（公務を除く）は、2016年において、44,511人であったのに対して、農林漁業従業者はわずか800人（1.8%）であった⁹⁾。林家数は、2015年において、4,426戸であった。このうち、所有規模が5haまでの林家が48.8%を占めた⁹⁾。市内総生産は、2012年の約3,342.6億円から2017年の約3,642.1億円へと増加した一方、林業が占める割合は0.4%であった。2012年の約14.5億円から2017年の約13.6億円へと減少した⁹⁾。一方、森林の多面的機能の管理を目的に、流域では下・中流域を中心に、間伐等作業実施が2000～2018年に多地点で行われた³⁰⁾。

流域では少子高齢化による過疎化が著しく進行し、所謂、森林が提供する供給サービスについて、人と森林の関わりが著しく低下している。一方、文化的なサービス（レクリエーションや地域の精神的な伝統文化に

資する利用)や里山の具体的な利用(薪炭用木材や山菜の採取など)については、詳細な社会統計データがないため、人と森林の関わりの変化は不明である。

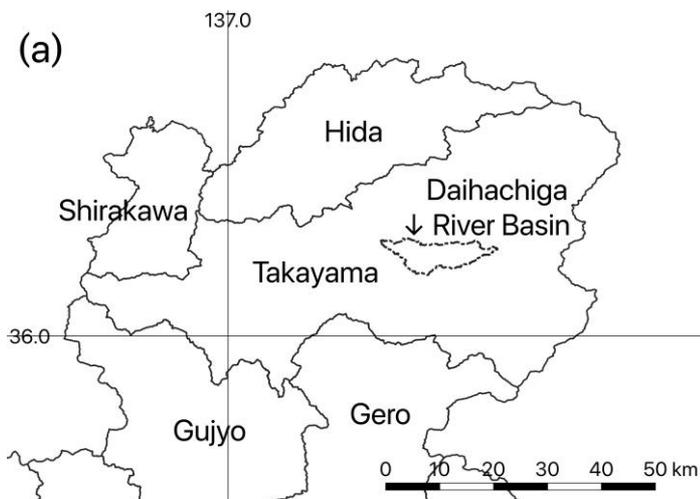
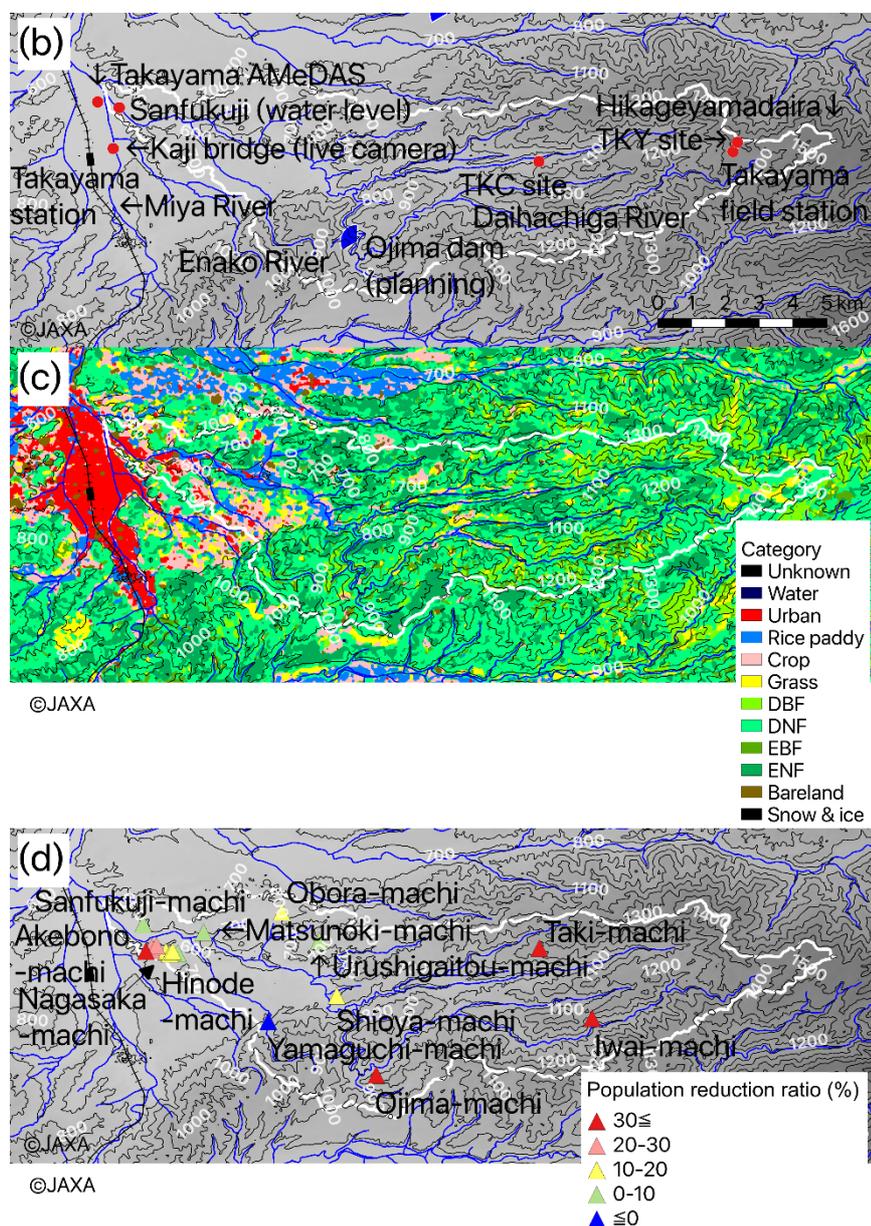


Fig.1 (a) Location of the Daihachiga River Basin in Gifu Prefecture. (b) Map of the Daihachiga River Basin. (c) Land cover and land use map of the river basin. (d) Population reduction ratio for various locations in the basin from 2005 to 2020. Land information (e.g., about municipal boundaries, rivers, railroads, stations, and dams) was obtained from the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2020)³¹. We used the “ALOS World 3D-30m” (AW3D30) digital surface model with a 30 m spatial resolution³². Black contour lines show intervals of 100 m.



2.3 人と気象災害の関わり

大八賀川流域では、近年、令和2年7月の豪雨および、平成26年12月17日からの大雪に伴う気象災害が生じた。これらの気象災害は、後述の高山試験地において長期連続的な気象観測が行われている1996年以降、甚大な事象である。

2.3.1 令和2年7月豪雨

令和2年7月豪雨とは、2020年7月3日から8日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響により、暖かく非常に湿った空気が継続して流れ込み、九州南部・九州北部地方・東海地方・甲信地方を中心に生じた大雨である。これらの地域では、24・48・72時間降水量が観測史上第1位の値を超えるなど、7月の月降水量平年値の2倍から3倍を記録した。この大雨に関して、気象庁は、熊本県・鹿児島県・福岡県・佐賀県・長崎県・岐阜県・長野県の7県に大雨特別警報を発表した³³⁾。高山市では、7月8日午前6時30分に特別警報が発表され、同日午前11時40分に解除された。また、7月7日午前8時15分に土砂災害警戒情報が発表され、7月9日午後1時30分に解除された。

岐阜県川の防災情報によれば、7月6日から8日までの顕著な時間雨量は、中流域の岩滝において、7月8日午前3時から4時に45mmであった³⁴⁾。同時刻における、大八賀川の源流付近に位置する高山試験地（北緯36°8'34"，東経137°25'20"，海拔1,342m; Fig.1(b)²⁷⁾と、流域の下流付近に位置する高山特別地域気象観測所（北緯36°9'22"，東経137°15'12"付近，海拔560m; Fig.1(b); 以後、高山アメダスと記述）の時間雨量は、ともに12.0mmであった。この時刻前後における時間雨量のピークは、高山試験地では午前2時から午前3時の29.5mm³⁵⁾，高山アメダスでは午前6時から午前7時の15.5mmであった。7月7日から9日までの累積雨量は、高山試験地が高山アメダスと比べて2倍多い約300mmであった。7月7日深夜から8日早朝までの時間雨量は、高山試験地が高山アメダスと比べてより多い時間帯が長く続き、高山試験地は高山アメダスと比べて、より早い時間帯（7日深夜）に降雨が多かった（Fig.2）。

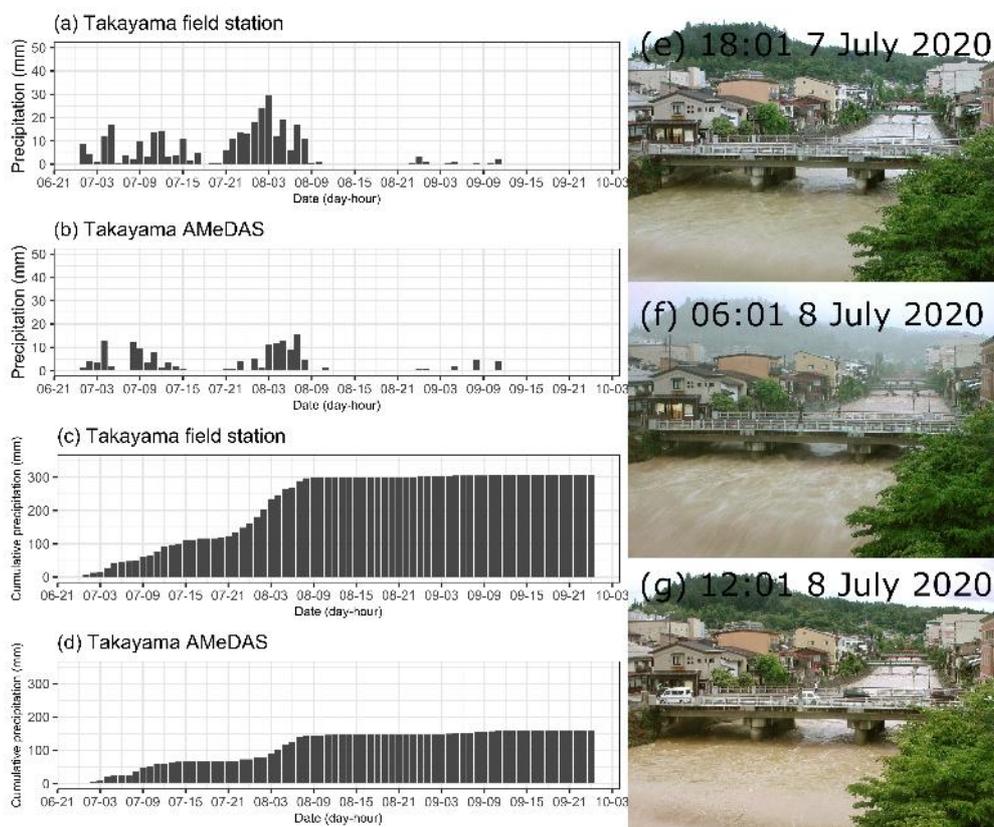
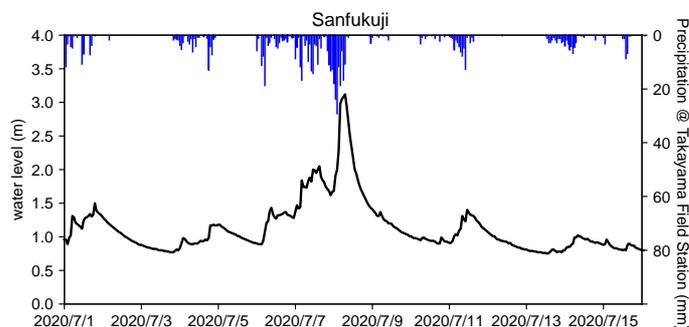


Fig.2 Hourly rainfall and cumulative rainfall at (a, c) Takayama field station and (b, d) Takayama AMeDAS from 7 July 2020 to 9 July 2020. (e, f, g) Live camera images taken at the nearby Kajii bridge (Fig.1(b)). Images were provided by Takayama Printing Co., Ltd³⁶⁾. The time and date of the image download are shown in each image.

流域の下流に位置する、三福寺（北緯 36°09'16"，東経 137°15'33"付近，海拔 559m; Fig.1(b)）における，7月8日の河川水位のピーク（午前7時; Fig.3）と，上流に位置する高山試験地（午前2時から3時）および，中流に位置する岩滝における時間雨量のピーク（午前3時から4時）には，それぞれ4～5時間と3～4時間の差がみられた。

Fig.3 Water level at Sanfukuji (black line, left y-axis) and hourly rainfall at Takayama Field Station (blue lines, right y-axis) from 1 to 15 July 2020. Water level data were provided by Gifu Prefecture.



高山市では人的被害はなかった。しかしながら，土砂流出や山腹崩壊（計 2.0ha）が計 12 箇所において発生した。流域では，岩井町地内と滝町地内において土砂流出と，岩井町地内において山腹崩壊（1.0ha）が発生した（Fig.4）。飛騨高山スキー場では土砂崩れが発生し，関連施設が全壊した³⁷⁾。同スキー上に通ずる県道・岩井高山停車場線は，複数箇所土砂崩れが発生し，9月初旬まで通行止めが続いた。大八賀川では，漆垣内町と三福寺町において，支流の生井川では，岩滝町において，護岸が被災した。三福寺町や滝町では，溢水により一部破損・床上浸水・床下浸水が計 5 棟生じた³⁸⁾。この他，道路（陥落・法面崩壊・路肩崩壊）・農地（冠水・法面崩壊・土砂流入）・公共施設被害（全壊）・農業用施設被害（用排水路崩壊・埋没）・パイプハウス被害（全壊）・携帯電話通信障害が報告されている³⁸⁾。

Fig.4 (a) Driftwood in the Namai River (photo taken on 31 July 2020). (b) Sediment discharge in Takimachi (photo taken on 20 July 2020).



2.3.2 平成 26 年 12 月 17 日からの大雪

2014 年（平成 26 年）12 月 16 日から 18 日にかけて，日本付近の強い冬型の気圧配置により，西日本から東北地方の日本海側や北海道では，平地を含めて大雪になった。特に，北海道では暴風雪となり，太平洋側の平地でも積雪した地域があった³⁹⁾。高山試験地では，12 月 17 日に 43.7cm の降雪を，翌日に最深積雪 129.8cm を観測した（積雪深による自動計測）³⁵⁾。高山アメダスでは，12 月 17 日に 46cm の降雪を，翌日に最深積雪 87cm を観測した⁴⁰⁾。また，2014 年 12 月の降雪の深さ月合計は，統計期間（1953 年 12 月から 2020 年 12 月）において，第 3 位の 215cm であった⁴⁰⁾。

高山市では，倒木により，ピーク時に約 15,000 件の停電と 62 件の断水，住宅・事務所・公共施設・文化財・農業用ハウスの破損などが生じた⁴¹⁾。流域の中流の滝町（たきまち）に位置する常緑針葉樹林の観測サイト（スギ・ヒノキの植林地：TKC サイト；北緯 36°8'24"，東経 137°22'15"付近，海拔 785m; Fig.1(b)）²⁷⁾では，定期的に毎木調査を行なっている，0.15ha の永久コドラート内の 35%（150 個体）が幹折れ・幹曲がり・枝折れ・根返りの冠雪害を受けた⁴²⁾。2014 年 12 月岐阜県飛騨地方雪災害調査（速報）によれば，倒木被害の拡大の原因は，12 月 12 日から 15 日にかけての降雪と寒暖の差，12 月 16 日の 0～1℃の着雪しやすい湿雪，12 月 17 日から 19 日の強い寒気と大雪であると推測された⁴³⁾。

以上のように、流域では豪雨と豪雪により物的被害が多く生じた。居住域の多くは、高山市の防災ハザードマップ⁴⁴⁾において、「土砂災害警戒区域」に指定されている。事実、**Fig.4(b)**に示される土砂流出地点は、「土砂災害特別警戒区域（土石流）」と「土砂災害警戒区域（土石流）」に指定され、その危険性が指摘されていた。記録が残る限り大八賀川では、1702年6月10日・1920年6月28日・1922年7月5日・1934年6月29日・1957年7月に洪水被害（橋が落ちるなど）を受けた¹³⁾。

3. 新たな観測データや情報をどのように役立てるか？

大八賀川流域では、官公庁や研究者などにより継続的に取得された社会統計や地上観測データは、人・森林・気象災害の現状と関わりの説明を可能とした。しかしながら、人口減少と気象災害に対するリスクが加速する中山間地域では、流域の生態系の変化をより詳細に、リアルタイムに、かつ省力的にモニタリングするシステムが今後強く求められる。

これを達成するためには、①無人センサーによる観測、②衛星センサーやドローン（無人飛行機）による先進的なリモートセンシング観測、③インターネット上における市民が関与した情報の解析（ソーシャルセンシング）など、新たな観測データや情報を積極的に利用した解析や評価を加速化させる必要がある。以下に、これらの有用性や課題点を考察する。

3.1 無人センサーによる観測

近年では、災害を監視するセンサーが全国に設置され、無人で観測されたリアルタイムの河川水位やライブカメラ画像を平時より官公庁などのウェブサイトから容易にアクセス可能になった（例えば、一般財団法人国土技術研究センター（2020）⁴⁵⁾）。流域では、雨量計（前述の三福寺1箇所）と危機管理型水位計（4箇所）による観測が行われている。最新の情報は、インターネット上において入手可能である⁴⁶⁾。

今後は、第5世代移動通信システム（5G）の整備などICT（情報通信技術）やIoT（モノのインターネット）の進化により、現在と比べて多地点、多岐の項目に渡る詳細な観測データの取得が期待される。また、例えば、Bluetoothを介したワイヤレスの簡易な計測器の技術発展は、特に観測環境の制約や維持管理の労力不足が懸念される中山間地域では、大いなる利点をもたらすであろう。しかしながら、これらのセンサーネットワークにより得られる所謂、「ビッグデータ」は、点群である。このため、各観測地点間の空間的な隔たりを埋める、面的な観測データや情報が必要となる。

3.2 先進的なリモートセンシング観測

(a) 高空間分解能・高頻度観測衛星

近年の衛星に搭載された光学センサーの技術発展は、以前と比べてより高い空間解像度を持って、災害の発生前後の地表面の様子を広域的かつ詳細に観測可能とした。特に、中山間地域の流域では複雑な地形とそれに起因した土地利用被覆を詳細にとらえることが重要である。光学センサーは、植物季節や土地被覆の変化を生態学的な解釈を持って観測できる利点を持つ。

令和2年7月豪雨について、土砂流出が生じた滝町付近を対象に、10mの空間分解能を持つSentinel-2A/B衛星により観測されたRGB合成画像を**Fig.5**に示した。土砂流出地点付近において、豪雨後に植生被覆が減少した様子が良くみとれる（図中、点線の丸）。Sentinel-2A/Bは、2015年と2017年にヨーロッパ宇宙機関より打上げられた極軌道衛星である。現時点では、同一地点を5日ごとに観測するが、将来的には4機体制となり、観測頻度は2日程度へ向上する⁴⁷⁾。これまでの同様な衛星センサーの観測頻度は、Landsatシリーズ衛星が30mの空間分解能を持って16日ごと、TerraとAqua衛星に搭載されたMODISセンサーが250~500mの空間分解能を持って1日ごとであった。このため、Sentinel-2A/B衛星の登場は、革命をもたらしたと言っても過言ではない。しかしながら、光学センサーは、雲被覆や大気の影響を受ける欠点を持つため、**Fig.5**に示されるように、災害発生直後の観測データを得られていない。約40日経過して、ようやく快晴条件の衛星データを得られた。



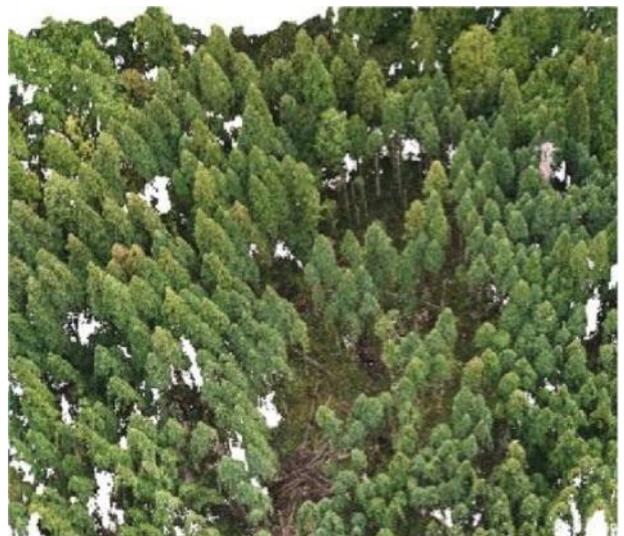
Fig.5 RGB composite images of Taki-machi observed on (a) 29 June 2020 (before torrential rains) and (b) 18 August 2020 (after torrential rains). Arrows show the approximate location of the photograph in Fig.4(b). Images were obtained from Sentinel-2A/B satellites, and we used the Sentinel Application Platform (SNAP)⁴⁸⁾ for atmospheric correction. We used the AW3D30 digital surface model with a 30 m spatial resolution³²⁾. White contour lines are at 10-m intervals.

この欠点を解決する方法として、Miura and Nagai (2020)⁴⁹⁾は、空間分解能は低い(1km)が、同一地点を超高頻度(日本付近では、2.5分ごと)に観測する静止気象観測衛星ひまわり8号⁵⁰⁾のデータを解析し、平成29年7月九州北部豪雨と平成30年7月豪雨に起因した植生の変化を検出した。この事例研究は、今後計画される、静止衛星に搭載する光学センサーの空間分解能の飛躍的な向上(10m以下)⁵¹⁾に対する期待を高める。現時点では、高空間分解能(例えば、10m)を持って高頻度な(例えば、2.5分ごと)衛星観測は不可能であるが、この衛星観測は将来的には可能となり、光学センサーが持つ最大の欠点である雲被覆の問題が解決される。

(b) ドローン

現時点においては、人的資源・蓄電池の容量・法的規制などの問題により困難ではあるが、複数機のドローンを用いた多地点における完全自動飛行観測は、流域の生態系の変化を詳細に検出するための有用な手法になると考えられる。平成26年12月17日からの大雪について、1地点を対象とした1度だけの観測ではあるが、TKCサイトを対象にドローンを用いて撮影した空中写真の解析により作成され SfM (Structure from Motion) 点群画像(2016年10月21日撮影)を Fig.6 に示した⁴²⁾。冠雪に伴い生じた倒木による森林構造の変化を三次元的に良くみてとれる。

Fig.6 SfM (Structure from Motion) point clouds at site TKC (Japanese cedar and cypress afforestation) (revised from Nagai et al. (2018)⁴²⁾).



ドローンによる調査は、従来の有人航空機などを用いた大規模な調査と比べて、迅速性・経済性・柔軟性に優れている。法的規制があるため現時点ではシステムの真価を十分に発揮できてはいないが、遠隔地からインターネットを用いて、ドローンの飛行ルートの設定や制御・クラウドサーバー上へのデータ転送を可能とする、完全自動運用型ドローンシステム「SENSYNDRONE HUB」⁵²⁾が既に開発されている。例えば、表層崩壊の危険度が非常に高いと推定される砂防監視上、重要な複数の地点に完全自動運用型ドローンシステムを設置し、河川や落石・植生の様子などを広域のかつ定期的に観測することは、前述の地上センサーと衛星によるリモートセンシング観測の空間的な隔たりを補完する点において有用であると考えられる。

3.3 ソーシャルセンシング

Google Trends⁵³⁾・Twitter・Mapillary⁵⁴⁾など市民がインターネット上において関与した情報の解析は、人・森林・気象災害の関わりをリアルタイムで理解するために有用であると考えられる。

(a) Google Trends

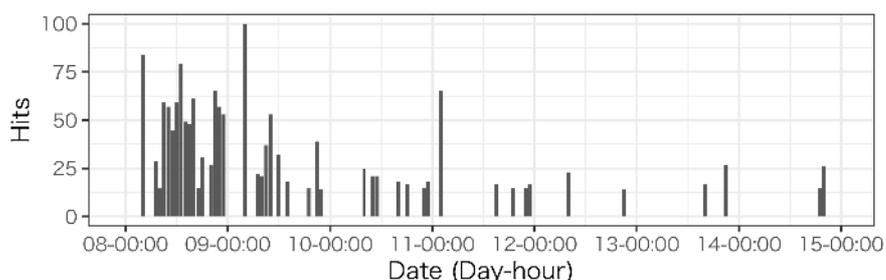
Google Trends は、ある対象期間における検索語のトレンドを相対的に調査できるツールである。0 から 100 の値で表現され、100 が最もトレンドが上昇した日時を示す。例えば、時系列的なデータの特徴を活かし、花粉の放出や蚊の発生に関して、緯度の傾度に沿った時空間分布の特徴が調査されている⁵⁵⁾。令和 2 年 7 月豪雨について、岐阜県を対象に“高山市 被害”を検索語とした Google Trends の日々の時間変化を Fig.7 に示した。トレンドは、気象庁が高山市に対して特別警報を発表した 7 月 8 日午前 6 時 30 分より前の、午前 4 時より上昇し、8 日の夜まで高い値を継続的に示した。流域の上・中流における降雨が強かった 8 日の未明の時点において、人々の関心（不安）が非常に高かったと推測される。しかしながら、トレンドの絶対数は不明であり、検索目的を知ることはできない。また、トレンドの集計範囲は、日本では都道府県が最小単位である。このため、流域の人々が直接的に関与した情報を正確に評価できず、他の地域を対象とした検索が含まれる可能性も考えられる。くわえて、時間ごとのトレンドは、一定の時間が経つと検索できなくなるという問題点がある。

(b) Twitter

Twitter は、ソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）の一つであり、日本語では 140 文字以内のテキストや画像などを利用者がツイート・閲覧・リツイートする。テキストを構成する各語彙（形態素）の相互の関係（ネットワーク）を分析することにより、市民の興味関心や感情を評価できる。このため、マーケティングや観光動向などを対象とした応用研究が盛んに行われている^{56), 57), 58)}。令和 2 年 7 月豪雨について、2020 年 7 月 7 日から 2020 年 7 月 10 日における、“豪雨”と“高山市”を検索語としたツイートの解析により集計した形態素（単語）と形態素のネットワークを Fig.8 に示した（重複とリツイートを除いた 84 ツイートが対象）。氾濫・通行止め・大雨被害・支援などに関する形態素が多くみとれる。

スマートフォンを利用した SNS は、情報爆発やデマ⁵⁹⁾、真偽不明な情報の拡散などの問題がある一方、通信容量が小さい、常時商用電源を必要としない、対話型の情報発信・受信が可能であるという利点を持つ⁶⁰⁾。このため、特に非常事態において、リアルタイムの情報を広域のかつ迅速に収集可能な有用なツールであると言える。しかしながら、中山間地域のように人口が希薄であり、若年層と比べて高齢層の割合が高い地域では、SNS の利用者が少ないという問題点がある。

Fig.7 Google Trends of “Takayama-city and damage” in Gifu Prefecture from 8 to 14 July 2020. Data were accessed on 14 July 2020.



4. 将来展望

本稿において例示した、令和2年7月豪雨や平成26年12月17日からの大雪のような気象災害は、非常に残念ながら、毎年、日本の中山間地域の流域のどこかで発生してもおかしくない状況である。被害を未然に防ぐ、あるいは低減するためには、平時からの高い防災意識と、迅速な危機回避行動が重要であることは言うまでもない。けれども、中山間地域の流域の住民は、居住地周辺だけに止まらず、流域全体（少なくとも、上流域）に目を向けた危険性の認知とリスク管理も必要であると考えられる。危険の要因としては、例えば、近所に崖がある、急峻な地形を勢いよく流れる小川があるなど、五感により体験可能な、理解しやすい項目がある。各地方行政が提供するハザードマップは、危険性の理解を視覚的に大いに助ける（例えば、高山市役所（2020）⁴⁴⁾）。一方、流域の人口減少や社会構造の変化による働き手不足により管理が行き届かない森林が増え、流木被害が増大するなど、実は地域社会が自ら危険性を高めている、五感では体験困難な、理解しにくい項目もある。

本稿をまとめるにあたり、当該研究の今後の方向性として、次の3項を提案したい。

(1) 様々な観測データや情報の統合化・地図化

「3. 新たな観測データや情報をどのように役立てるか？」で述べたように、我々は、新旧問わず膨大な観測データ（自然科学データ）と市民が関与した情報（社会データ）を入手できるようになった。しかしながら、流域を対象とした、各項目の相互の関連性や全体像の理解・観測データと市民が関与した情報の繋がり（理解・全てのデータを統合的かつ視覚的に表現するための地図作り）は、不十分な状況である。まさに、岸（2013）⁶⁴⁾が提唱する、「流域思考」（流域をベースに土地を区分けした流域地図に基づき、地域の自然保全・災害対策・環境危機をめぐる地球規模の課題・文明の方向までを考える思考）の実行である。このとき、個々の現象の過程の理解は乏しくなるが、AI やディープラーニングを導入し、新たな視座に立った大胆な解析も必要であるかもしれない。

(2) 過去・現在・将来をつなぐ解析・評価

上述(1)と関連して、現時点における最先端の技術と詳細な観測データや情報に基づいた解析や理解が流域の問題を普遍的に解決するわけではない。温故知新の視座に立った取り組みも必要である。このとき、オンラインでは公開されていない、流域を対象に取得された過去の観測データや知見のレスキューは、重要な課題である⁶⁵⁾。特に、詳細な社会統計データがない、地域の精神的な伝統文化や里山の具体的な利用などに関連する情報（記録や記憶）の収集は、流域における人と生態系の関わりの長期変化を評価するために重要である。流域の過去を知る先人や、流域を対象に業務を行う大学などの技官職員は、今後ますます減少の一途を辿る。待ったなしの危機的状況である⁶⁵⁾。

(3) 流域の将来像を意識した研究とステークホルダーとの対話

問題の当事者である、流域の全ての住民や地域行政（ステークホルダー）がどのような流域の将来像を描くのか？。ランドデザイン（全体構想）を意識した研究が重要である。例えば、水循環に着目すると、近年、人間活動との相互関係を取り扱う「社会水文学」という学問分野が体系化されつつあり、この思想は参考になる^{66),67),68)}。2020年7月に社会資本整備審議会（2020）⁶⁹⁾が推進した「流域治水」を例にとると、気候変動の影響や社会状況の変化等をふまえ、流域全体で水害対策を行うとしている。これは、水害対策という一方向での物事の捉え方であり、従来の学問体系と同様な思考である。ただし、実際の流域において「流域治水」を行った場合、例えばこれまでとは異なる氾濫形態となり、流域内での物質循環が変化し、生態系へ影響を及ぼすことが予想される。この生態系への影響を最小化させるには、「流域治水」の方法も再考しなくてはならない。このように対象とする物事の相互関係を踏まえた議論を行う必要があるという考え方が「社会水文学」である。ただし、流域で議論すべきことは、上述で例に取った水害や雪害など諸現象に対する防災・減災や、国連の「SDGs」で示されているように持続可能な流域の実現に向けた環境保全など多岐に亘る。

これらの手助けとして研究者は、社会シナリオを意識した解析・評価に基づき、流域を構成する市区町村

との協働を実施、時には、提言することも重要ではないだろうか。前述のように、我々は「気候危機」に直面しており、我が国では2018年12月1日に気候変動適応法⁷⁰⁾が施行された。この法律が示すように、我々は、これ以上気候変動が促進しないように緩和努力を推進する必要がある。その一方で、「気候危機」の状況下における、持続的な流域を実現するために、現況への適応も必要である。このような考え方は、「気候危機」に対してだけでなく、人口減少・過疎化など社会変化に対しても同様に当てはめる必要がある。今後は、特に、with コロナやpost コロナ（感染症の拡大防止対策）を意識した、パラダイムシフトも要求されるであろう。

上述の3項を早期に実現し、来たる気候危機に立ち向かうキャパシティービルディング（能力構築）の一助として本稿が役立つことを願って止まない。最後に、災害に遭われた方々に対して心よりお見舞い申し上げると同時に、今後、凄惨極まりない災害が起きないことを切に祈って本稿の結びとする。

謝辞

岐阜県より河川水位データの提供を受けた。本研究に用いた全国土地利用データは、北海道教育大学 氷見山幸夫教授および、愛知大学 有菌正一郎教授によって作成され、国立研究開発法人 国立環境研究所 地球環境研究センター 地球環境データベース上の LUIS Web から提供されたものである。編集者及び匿名の査読者より、本稿の改訂に関して建設的な意見を頂いた。記して感謝の意を表する。

参考・引用文献

- 1) IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis, <http://www.climatechange2013.org> (参照 : 2021/1/23)
- 2) 気象庁 (2021) : 大雨や猛暑日など (極端現象) のこれまでの変化, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html (参照 : 2021/1/23)
- 3) 虫明功臣, 太田猛彦監修 (2019) : ダムと緑のダム 狂暴化する水災害に挑む流域マネジメント, 日経 BP, 239pp..
- 4) 環境省 (2020) : 令和2年版 環境・循環型社会・生物多様性白書, <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r02/pdf.html> (参照 : 2021/1/23)
- 5) 農林水産省 (2021) : 中山間地域等について, https://www.maff.go.jp/j/nousin/tyusan/siharai_seido/s_about/cyusan/index.html (参照 : 2021/1/23)
- 6) 西野順也 (2019) : 日本列島の自然と日本人, 築地書館, 183pp..
- 7) 太田猛彦 (2019) : 特集 : 平成29年7月九州北部豪雨と流木災害「流木災害」と森林管理, 水利科学, Vol.365, pp.70-83.
- 8) 笥裕介 (2019) : 持続可能な地域のつくり方 未来を育む「人と経済の生態系」のデザイン, 英治出版, 421pp..
- 9) 高山市役所 (2020) : 令和2年度高山市のあらまし, <https://www.city.takayama.lg.jp/shisei/1000058/1001904.html> (参照 : 2021/1/23)
- 10) 岐阜県 (2020) : 大島ダム, <https://www.pref.gifu.lg.jp/shakai-kiban/kasen/dam/11652/ojima.html> (参照 : 2021/1/23)
- 11) JAXA (2021) : 高解像度土地利用土地被覆図ホームページ, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm (参照 : 2021/1/23)
- 12) 福田夏子, 栗屋善雄, 児島利治 (2012) : LiDAR と Quickbird のデータを用いた森林植生タイプの分類—高山市大八賀川流域の事例—, システム農学, Vol.28, No.4, pp.115-122.
- 13) 荒川喜一 (1971) : 大八賀村史, 大八賀財産区, 827pp..
- 14) 高山市役所 (2015) : 高山の歴史, <https://www.city.takayama.lg.jp/kurashi/1000021/1000119/1000846.html> (参照 : 2021/1/23)
- 15) 高山市役所 (2015) : 鍋山城跡, <https://www.city.takayama.lg.jp/kurashi/1000021/1000119/1000847/1000954/1000963.html> (参照 : 2021/1/23)
- 16) 高山市役所 (2015) : 三仏寺城跡,

- <https://www.city.takayama.lg.jp/kurashi/1000021/1000119/1000847/1000954/1000968.html> (参照 : 2021/1/23)
- 17) 高山市役所 (2020) : 人口統計資料, <https://www.city.takayama.lg.jp/shisei/1000062/1002187/1002188.html> (参照 : 2021/1/23)
 - 18) 厚生労働省大臣官房統計情報部 (2000) : 平成 12 年市区町村別生命表の概要, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/ckts00/index.html> (参照 : 2021/1/23)
 - 19) 林上 (2018) : 飛騨高山 地域の産業・社会・文化の歴史を読み解く, 風媒社, 388pp..
 - 20) 黒田乃生 (2002) : 白川村荻町の森林における利用と景観の変容に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.65, No.5, pp.659-664.
 - 21) 有藺正一郎 (1995) : 1.2 近世末 (1850 年頃) の国土利用 (pp.4-5), 1.3 明治大正期 (1900 年頃) の国土利用 (pp.6-7), アトラスー日本列島の環境変化, 西川治監修, 氷見山幸夫他編, 朝倉書店.
 - 22) 氷見山幸夫 (1995) : 1.4 昭和中期 (1950 年頃) の国土利用 (pp.8-9), 1.5 現代 (1985 年頃) の国土利用 (pp.10-11), 1.6 明治大正期～現代の国土利用の変化 (pp.12-13), アトラスー日本列島の環境変化, 西川治監修, 氷見山幸夫他編, 朝倉書店.
 - 23) 氷見山幸夫 (1995) : 1.1 近代化と国土利用の変化 (pp.2-3), アトラスー日本列島の環境変化, 西川治監修, 氷見山幸夫他編, 朝倉書店.
 - 24) 国立環境研究所 (2021) : 全国土地利用データベース Web 版 (LUIS Web) , <https://db.cger.nies.go.jp/dataset/luis/ja/others/datapolicy.html> (参照 : 2021/1/23)
 - 25) 国土地理院 (2021) : 地図・空中写真閲覧サービス, <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> (参照 : 2021/1/23)
 - 26) 原田一平, 松村朋子, 原慶太郎, 近藤昭彦 (2011) : 近代化の過程における日本の森林変遷に関する空間解析, 景観生態学, Vol.16, No.1, pp.17-32.
 - 27) Muraoka, H., and Koizumi, H. (2009): Satellite Ecology (SATECO)—linking ecology, remote sensing and micrometeorology, from plot to regional scale, for the study of ecosystem structure and function, J Plant Res, Vol.122, pp.3-20.
 - 28) 沈昱東, 涌井幸子, 竹原優子, 星野安治, 内海泰弘, 鎌田直人, 野堀嘉裕, 市栄智明, 村岡裕由, 斎藤琢, 平野優, 安江恒 (2020) : 日本各地に生育するブナの肥大成長に影響する気候要素, 木材学会誌, Vol.64, No.5, pp.171-186.
 - 29) 平野優, 斎藤琢, 武津英太郎, 小林元, 村岡裕由, 沈昱東, 安江恒 (2020) : 中部地方に生育するスギの年輪構造と気候要素との関係, 木材学会誌, Vol.66, No.3, pp.117-127.
 - 30) 岐阜県 (2021) : 県域統合型 GIS ぎふ, 間伐等実施箇所, <https://gis-gifu.jp/gifu/Portal> (参照 : 2021/1/23)
 - 31) 国土交通省 (2021) : 国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/other/agreement.html> (参照 : 2021/1/23)
 - 32) JAXA (2021): ALOS 全球数値地表モデル (DSM) “ALOS World 3D - 30m (AW3D30)” , https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d30/index_j.htm (参照 : 2021/1/23)
 - 33) 気象庁 (2020) : 令和 2 年 7 月 3 日からの豪雨へ名称を定めることについて, https://www.jma.go.jp/jma/press/2007/09b/20200709_heavyrainname_ref.pdf (参照 : 2021/1/23)
 - 34) 岐阜県 (2020) : 令和 2 年 7 月豪雨による被害概要等 (第 41 報) , <https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/203217.pdf> (参照 : 2021/1/23)
 - 35) 岐阜大学流域圏科学研究センター (2021) : 高山試験地・気象データ, <https://www.green.gifu-u.ac.jp/takayama/> (参照 : 2021/1/23)
 - 36) 高山印刷株式会社 (2021) 飛騨高山ライブカメラ, <https://www.takayama-dp.com/live/> (引用 : 2021/1/23)
 - 37) 高山市民時報 (2020) : 令和 2 年 7 月 13 日記事, (株) 高山市民時報社.
 - 38) 高山市役所 (2020) : 令和 2 年 7 月 7 日大雨 (第 1 報から 42 報) , <https://www.city.takayama.lg.jp/shisei/1000059/1003874/1012775/index.html> (参照 : 2021/1/23)
 - 39) 気象庁 (2014) : 全国災害時気象概況平成 26 年 (2014 年) , https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kishougaikeyo/gaikyo_2014.pdf (参照 : 2021/1/23)
 - 40) 気象庁 (2021) : 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2021/1/23)

- 41) 高山市役所 (2014) : 12月17日からの大雪について (第20報) ,
https://www.city.takayama.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/004/930/20141217-20.pdf (参照 : 2021/1/23)
- 42) Nagai, S., Saitoh, T. M., Kajiwara, K., Yoshitake, S., and Honda, Y. (2018): Investigation of the potential of drone observations for detection of forest disturbance caused by heavy snow damage in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forest, *J Agric Meteorol*, Vol.74, No.3, pp.123-127.
- 43) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター (2014) : 2014年12月岐阜県飛騨地方雪災害調査 (速報) ,
https://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu_naiyou/seppyouaigai/2015/quick%20report20150114gifu.pdf (参照 : 2021/1/23)
- 44) 高山市役所 (2021) : 高山市ハザードマップ,
<https://www.city.takayama.lg.jp/kurashi/1000013/1000080/1000254/index.html> (参照 : 2021/1/23)
- 45) 一般財団法人国土技術研究センター (2021) : 河川ライブカメラマップ,
<http://www.jice.or.jp/knowledge/maps/rivers> (参照 : 2021/1/23)
- 46) 岐阜県 (2021) : 岐阜県川の防災情報, <https://www.kasen.pref.gifu.lg.jp/#/home> (参照 : 2021/1/23)
- 47) ESA (2020): Sentinel-2, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (参照 : 2021/1/23)
- 48) ESA (2020): SNAP, <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> (参照 : 2021/1/23)
- 49) Miura, T., and Nagai, S. (2020): Landslide detection with Himawari-8 geostationary satellite data: A case study of a torrential rain event in Kyushu, Japan. *Remote Sens*, Vol.12, 1734; doi:10.3390/rs12111734.
- 50) 三菱電機 (2021) : 人工衛星,
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/society/space/satellite/observation/himawari8-9.html> (参照 : 2021/1/23)
- 51) JAXA (2019) : 静止光学衛星観測の研究状況について,
<https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-anpo/anpo-dai32/siryoul-1.pdf> (参照 : 2021/1/23)
- 52) センシンロボティクス (2021) : 完全自動運用型ドローンシステム「SENSYN DRONE HUB」,
<https://www.sensyn-robotics.com/technology/dronehub> (参照 : 2021/1/23)
- 53) Google Trends (2021): <https://trends.google.co.jp/trends/?geo=JP> (参照 : 2021/1/23)
- 54) Mapillary (2021): <https://www.mapillary.com> (参照 : 2021/1/23)
- 55) Proulx, R., Massicotte, P., and Pépino, M. (2014): Googling Trends in conservation biology, *Conservation Biol*, Vol.28, No.1, pp.44-51.
- 56) 藤野友和, 江頭志歩, 横尾愛 (2016) : 顧客のセグメンテーションと Twitter データ分析に基づく効果的な販促方法の考察, *計算機統計学*, Vol.29, No.2, pp.149-157.
- 57) 相原健郎 (2017) : ビッグデータを用いた観光動態把握とその活用 動態データで訪日外客の動きをとらえる, *情報管理*, Vol.59, No.11, pp.743-754.
- 58) 加藤大受, 石川博 (2019) : Twitter データを活用した訪日外国人の観光行動分析の実現について, *システム/制御/情報*, Vol.63, No.1, pp.8-13.
- 59) 藤代裕之, 松下光範, 小笠原盛浩 (2018) : 大規模災害時におけるソーシャルメディアの活用—情報トリアージの適用可能性, *社会情報学*, Vol.6, No.2, pp.49-63.
- 60) 坂巻英一, 亀井悦子 (2014) : Twitter 上のつぶやきに関するテキストマイニングの事例研究—大規模災害発生時の被災地における現状把握への応用—, *日本経営工学会論文誌*, Vol.65, No.1, pp.39-50.
- 61) 山本義郎, 藤野友和, 久保田貴文 (2017) : Rによるデータマイニング入門, オーム社, 230pp..
- 62) 石田基広 (2018) : Rによるテキストマイニング入門, 森北出版, 183pp..
- 63) Creative Commons (2020) : クリエイティブ・コモンズ・ライセンスとは, <https://creativecommons.jp/licenses/> (参照 : 2021/1/23)
- 64) 岸由二 (2013) : 「流域地図」の作り方 川から地球を考える, 筑摩書房, 156pp..
- 65) Shin, N., Shibata, H., Osawa, T., Yamakita, T., Nakamura, M., and Kenta, T. (2020): Toward more data publication of long-term ecological observations, *Ecol Res*, Vol.35, pp.700-707.
- 66) Sivapalan, M., Savenije, H. H. G., and Blöschl, G. (2012): Socio-hydrology: A new science of people and water, *Hydrol Processes*, Vol.26, pp.1270-1276.

- 67) Pande, S., and Sivapalan, M. (2017): Progress in socio-hydrology: a meta-analysis of challenges and opportunities, WIREs Water, Vol.4, e1193.
- 68) 中村晋一郎, 木村匡臣, 乃田啓吾, 渡部哲史, 西原是良 (2020) 社会水文学—その日本での展開に向けて—, 水文・水資源学会誌, Vol.33, No.5, pp.203-211.
- 69) 社会資本整備審議会 (2020) : 気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～答申,
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouuinkai/kikouhendou_suigai/pdf/03_ho_nbun.pdf (参照 : 2021/1/23)
- 70) e-Gov ポータル (2021) : 気候変動適応法 (平成三十年法律第五十号) ,
https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=430AC0000000050 (参照 : 2021/1/23)

(原稿受付 2020年12月2日 原稿受理 2021年2月12日)