

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04651

研究課題名（和文）積雪寒冷地における新規地震被害把握手法の開発と減災支援への展開

研究課題名（英文）Development of a new earthquake damage assessment method in snowy cold regions and development of support to reduce disaster

研究代表者

水田 敏彦（Mizuta, Toshihiko）

秋田大学・地方創生センター・教授

研究者番号：30342455

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、積雪寒冷地において積雪期（12月～3月）に発生した地震被害に関する文献調査を行い、積雪下の地震防災を考える上で参照すべき被災特徴、問題点を明らかにした。また、常時微動連続観測に基づく特別豪雪地帯住宅の冬期振動特性の変化を明らかにした。さらに、マルチエージェント手法を導入して、積雪の状況、建物倒壊、道路閉塞、除雪や救助活動、住民の避難行動をシミュレーションできるシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では全国に事例の多い積雪寒冷地を対象に、地域の地震危険度評価を根本的に見直し、都市固有の災害危険度を実態に即して評価しようとしている。従来の画一的な評価手法に地域性を取り込み、より合理的な地域に密着した地域防災対策立案に寄与し、本研究の成果は直接的に積雪寒冷地の地震対策に新たな方向性を与えるものとしてその社会的意義も大きいと考える。また、本研究では積雪寒冷地を対象に展開するが他の地域問題へも即応可能であり与える影響は大きいと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this study, Characteristics of the disaster and point of issues that should be referred to when considering earthquake disaster prevention in snow are clarified by conducting literature research for the earthquake damage occurred during the snow season (December to March) in snowy and cold regions. Changes in vibration characteristics of the houses of special heavy snowfall areas in winter based on the microtremor continuous observation is also clarified. In addition, by using the Multi-Agent system, a system that can simulate snow cover situation, building collapse, road closure, snow removal and rescue activities and evacuation behavior of residents is developed.

研究分野：防災工学

キーワード：積雪寒冷地 積雪期 地震被害 文献調査 地震災害危険度 住宅冬季振動特性 マルチエージェント
秋田県横手市

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

震災を軽減する方法の一つに、地域の地震に対する危険度分布を事前評価し、都市や地域の地震防災計画に活用しようとする考え(サイズミック・ゾーネーション)がある。そして、想定される地震に対する地表面の地震動強さの分布を求め建築物など各種の被害想定を行う手法は確立され、各地の都市で実務として防災行政の出発点となっている。特に2011年東北地方太平洋沖地震を契機に全国各地で被害想定およびそれに基づく地域防災計画の見直しが急速に進められている。しかし、現在広く用いられている評価手法は主に首都圏を対象に開発されたものであり、地域の状況にあった地震危険度評価手法の開発が不可欠である。

例えば2011年の東日本大震災や1995年の阪神・淡路大震災は冬期に発生した。東日本大震災は3月、阪神・淡路大震災は比較的温暖な地域での震災であったにもかかわらず、寒風の中での救助・救急活動、避難所や被災家屋での採暖の問題や健康の問題を投げかけた。これらの状況は積雪寒冷地での被災の場合に置き換えられる。また、2011年長野県北部地震や2004年新潟県中越地震は豪雪地帯の山間部が被災地となった。2011年長野県北部地震では雪による直接的被害や避難の困難などの問題が生じ、2004年新潟県中越地震は幸い地震の発生は10月であり積雪期を外れたが、復旧・復興期は積雪期にかかり問題を生じている。このように、積雪寒冷地においては従前の被害想定およびそれに基づく防災システムでは不十分であり、地域の状況にあった地震危険度評価手法の開発をしておくことは必要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、上記の背景を基に、過去の積雪期地震時の被災と対応の実態を解明し、これら積雪寒冷地特有の自然条件・社会条件を考慮した総合的な震災軽減支援システムの実現が目的である。また、震災軽減支援システムを活用した防災対策の提起を目的とする。このシステムは、秋田県を対象に選び具体的に展開し、研究代表者が携わってきた地震災害危険度評価法を発展させ、積雪寒冷地で発生した地震災害の調査・分析に基づく被災要因、季節変動が想定される住宅の振動特性実測データを考慮し、全ての情報を地理情報システム(GIS)により統合・分析した上で、従来の評価法では見落とされる危険を明らかにしようとしている。

3. 研究の方法

積雪寒冷地における震災の特徴、参照すべき被災事象、問題点が明確になることを目標として、具体的には次の3つの研究を進めた。

(1)積雪寒冷地の地震災害に関わる関連資料の収集・整備と防災課題の整理

まず、積雪期(12月~3月)に発生した地震災害の調査・分析を実施する。地域資料や当時の新聞記事を含む文献調査を進め、家屋および人的被害、地震発生後長期間に亘る社会・経済的影響とその後の復旧過程について明らかにし、冬の地震、特に積雪下の地震防災を考える上で参照すべき被災事象、問題点を整理する。さらに、太平洋側巨大地震での日本海側の被害、流行性感冒(スペイン風邪)大流行下において豪雪地帯で発生した地震災害についても調査・分析を実施する。

(2)積雪寒冷地における住宅の振動特性の季節変化の把握

住宅の地域特性の把握は震災対策の重要な課題である。積雪寒冷地においては、振動特性の季節変動が想定され、特に屋根雪による卓越周期の変化は大きいと考えられる。そこで豪雪地帯に位置する住宅を対象に長期間にわたる微動観測を実施し、被害予測のための基礎資料とする。

(3)震災軽減支援システムの開発

地盤・建物・道路情報を収集し、まず、震災軽減支援システムのためのGISデータベースを構築する。次に、構築したデータベースを基に、(1)と(2)の結果についても考察を加え、マルチエージェント手法を導入した開発済みの積雪期地震災害シミュレーションモデルを基に、建物倒壊と堆積雪・屋根雪の状況から、道路閉塞や避難行動をシミュレーションする新たな震災軽減支援システムを開発する。

4. 研究成果

(1)積雪寒冷地の地震災害に関わる関連資料の収集・整備と防災課題の整理

積雪期(12月~3月)に発生した地震

1872年(明治5年)3月14日浜田地震(M7.1)、1927年(昭和2年)3月7日北丹後地震(M7.3)、1982年(昭和57年)1月8日秋田県森吉・阿仁の地震(M5.2)および2011年(平成23年)3月12日長野県北部地震(M6.7)などを取上げ、各種被害調査報告、学術論文、地域資料、地方新聞記事を収集資料とし、雪の状況、地震発生時の積雪の問題、その後の救援・復旧・復興状況を整理し、積雪下の地震防災を考える上で参照すべき被災事象、問題点を明らかにする

ことができた。特に、1927年の北丹後地震は、積雪期の被害地震のなかでは被害が大きく（死者2912名、住家全潰5024棟）被災状況としては、倒壊家屋から雪を掘って脱出救助され、震災当日より雪上での避難生活を余儀なくされていたこと、さらに、地震後の雨、風、吹雪により救護救援活動が遅れ、地震後の降雨による融雪水害が震災翌日より広い範囲で数多く発生し被害が拡大したことを明らかにした。また、これらの問題の理解を深めるためには、被害の惨状を視覚的に伝える写真資料の活用が期待できる。そこで、雪に関する写真資料の文献調査を行い、文章では伝へ難い災害の実態についても明らかにした。一例として、積雪下での被災や救助の様子を写真1に、風雪下での救護救援活動の様子を写真2示す。

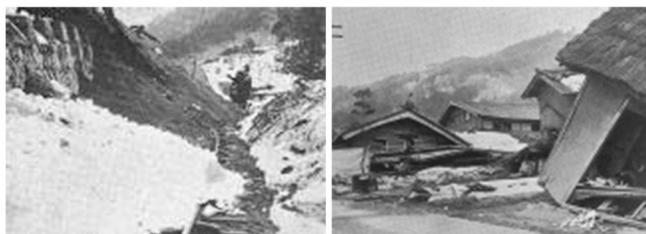


写真1 積雪下での被災や救助の状況



写真2 地震後の風雪下での救護救援活動
[写真は奥丹後震災誌(1928年、京都府)による]

また、2011年長野県北部地震は多雪地帯の積雪期に発生した被害地震として数少ない例の一つであり、積雪寒冷地の冬の地震を考える上で重要な地震である。この地震は東北地方太平洋沖地震の翌日未明に発生しマスコミ等の注目度は低かったが、震源付近は日本でも有数の豪雪地帯で多いところでは2m程度の積雪の中で発生した地震であった。特筆すべき点、明らかにされた主な項目は以下の通りである。

地震発生時の雪の状況：積雪は2m程度、当日の降雪は殆どなかった。道路の除雪や雪下ろしは行われており、住家の屋根雪は多くても50cm程度であったため、直接被害は限られた。地震発生時の雪の状況は直接的被害のみならず直後対応を大きく左右する。

甚大な道路被害：雪崩が多く発生し、道路の不通により集落の孤立が生じた。スノーシェッドが崩落し通行止めとなり、復旧に1年半かかった。山間部を抱える地域の大きな課題である。

応急対応期の課題：雪による被害の発見や復旧の遅れ、避難所での採暖や健康の問題、仮設住宅の寒さや雪下ろし対策まで多岐にわたる。

長期間にわたる課題：発災後の降雪、春先の降雨・融雪による被害の拡大や新たな被害の発生、雪解け後の被害発見による復旧の遅れ、被災下での翌年の雪への備えと変化し長期間にわたる。

太平洋側巨大地震での日本海側の被害

東北地方の太平洋側で発生するM8クラスの巨大地震の場合、その被災域は太平洋側のみならず日本海側にもおよび、間接被害は広範囲に波及する。そこで、1968年（昭和43年）十勝沖地震（M7.9 発震5月16日）に着目し、秋田県内の被害状況を整理した。また、大規模な地震の場合その被害は複数県に及び、さらに間接被害は広範囲に波及することを踏まえ、1964年（昭和39年）新潟地震（M7.5 発震6月16日）についても取上げ、従来余り議論されることのなかった秋田県の被害状況を整理した。

流行性感冒（スペイン風邪）大流行下において豪雪地帯で発生した地震

2019年末から2020年にかけて新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が世界的に流行し、2021年6月現在でも進行中である。約100年前の1918～1920年に流行した流行性感冒（俗称：スペイン風邪）が過去の例として参照されている。感染症流行下でも地震災害の発生は懸念され過去の事例に学ぶことは重要であると考え、流行性感冒大流行下において豪雪地帯で発生した1918年11月11日（M6.5）の長野県大町地震を取上げ、被災と対応を整理した。流行性感冒大流行下での11月中旬の地震であり、降雪と寒さが厳しい中住民は余震のため野外で避難している。また、流行性感冒のため病人が続出し避難中感冒に罹るもの、避難中容態が急変して死亡したものもあることが報じられていた。一方、発災から3日後に長野赤十字社が被害の大きい町村へ医師などを派遣し戸別訪問的救療を行っており、流行性感冒が沈静化したことが報じられていた。

(2)積雪寒冷地における住宅の振動特性の季節変化の把握

冬期の揺れによる被害を考える際、屋根雪の影響を把握しておくことが重要である。豪雪地帯の住宅では気候、採暖、屋根の雪下ろしなどにより振動特性の変化が考えられるが、冬期振動特性を長期間、継続的に観測した事例は限られる。そこで、秋田県横手市の特別豪雪地帯に位置する木造2階建住宅（在来工法、昭和51年築、標高250m）を対象として、冬期振動特性（特に固有周期）の変化を明らかにすることを目的に常時微動連続観測を実施した。観測した住宅の外観と微動計の設置場所（白色印）を写真3に示す。観測機材はサーボ型3成分加速度計（分解能24bit、東京測振製CV-374A）を用い、サンプリング周波数は100Hzとした。観測期間は2018年12月25日～2019年6月12日である。また、立地地点周辺と観測住宅の積雪状況について、2019年1月26日の事例を写真4に示す。

解析方法は、ノイズの少ない区間20.48秒のデータを選び出し、フーリエスペクトル（平滑化

10回、Hanning Window)を求めた。フーリエスペクトルの例を図1に示す。1月19日(午前10時頃)に屋根の雪下ろしをしておりピーク周期が大きく変化している。冬期振動特性の変化を把握するため、スペクトルの1次ピークを固有周期として読み取り、アメダス湯ノ岱の積雪深と比較した。2019年1月の観測結果を図2に示す。積雪深と固有周期の変化はよく対応する。固有周期の変化の範囲については、雪下ろし直後桁行方向0.19秒、梁間方向0.17秒、雪下ろし直前はバラツキがあるものの最大で桁行方向0.28秒、梁間方向0.26秒であり、1.5倍程度の変化が見られた。なお、観測地域は気象庁による気象観測が行われておらず、観測地点に最も近いと考えられるアメダス湯ノ岱(アメダス横手は横手市の市街地に位置する)の計測値を使用している。観測住宅付近でポールによる積雪計測が行われており、例えば2019年1月26日に現地調査を行った時には約205cmであった。この日の湯ノ岱の積雪深は約130cmであり、詳細は不明であるが観測住宅付近はアメダス湯ノ岱の1.5倍程度積雪が多い可能性がある。



写真3 観測した住宅の外観



写真4 積雪の例(2019年1月26日)

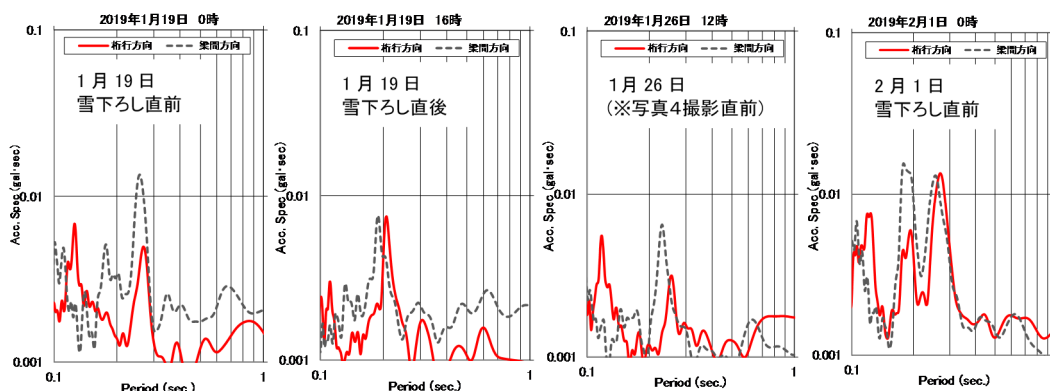


図1 フーリエスペクトルの例

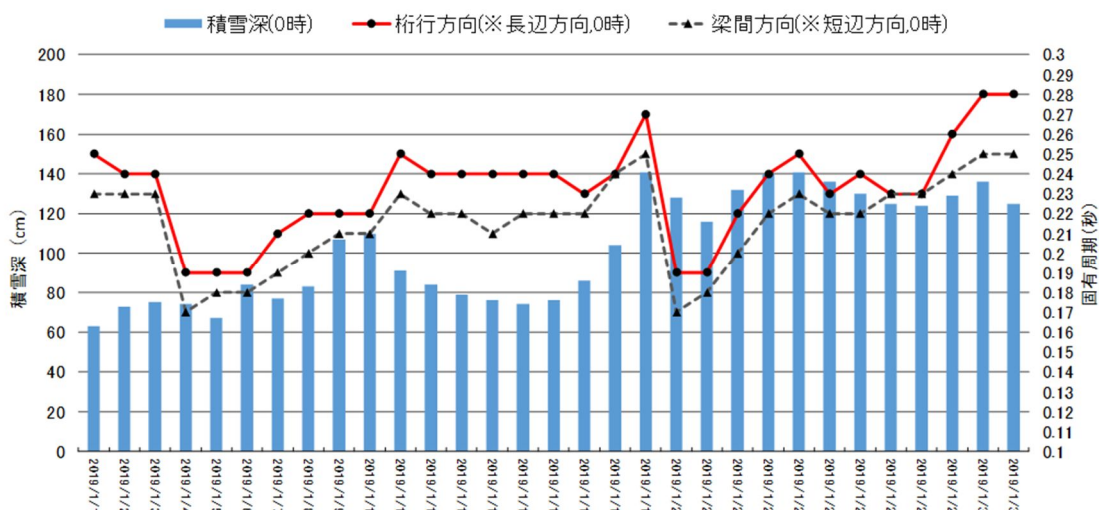


図2 アメダス湯ノ岱における積雪深(左軸)と観測した住宅の固有周期(右軸)の変化の例

(3) 震災軽減支援システムの開発

GISデータベースの構築

横手市全域を対象として、シミュレーション解析用ネットワークデータベースを構築した。これら膨大なデータベースの構築については、国土地理院刊行の数値地図(国土基本情報)を基に、必要なコンテンツを抽出し、利用できる座標系に変換するプログラムの開発を行った。

震災軽減支援システムの開発

開発ツールとして(株)構造計画研究所の artisoc を用いた。図3は本研究で開発した積雪寒冷

地のための震災軽減支援システムである。エージェントの設計は「住民」「車両(除雪車・重機)」と「建物」「道路」「避難所・避難場所」を定義し、そして被害の状況に応じて生成される「瓦礫」「落雪」「救助要請者」のエージェントをモデル化した。避難行動はダイクストラ法を利用し、最短経路計算で得られた結果を使用している。また、除雪車は閉塞した道路の除雪を行い、重機は家屋倒壊により発生した瓦礫などを撤去し閉塞した道路の復旧や家屋倒壊等により閉じ込められた住民の救出を行うことができる。開発した震災軽減支援システムは、コントロールパネルにより積雪量、揺れの大きさや屋根雪の状況に応じた建物倒壊率、住民や車両の数・移動速度・除雪能力などの条件を自由に設定できるようにしている。

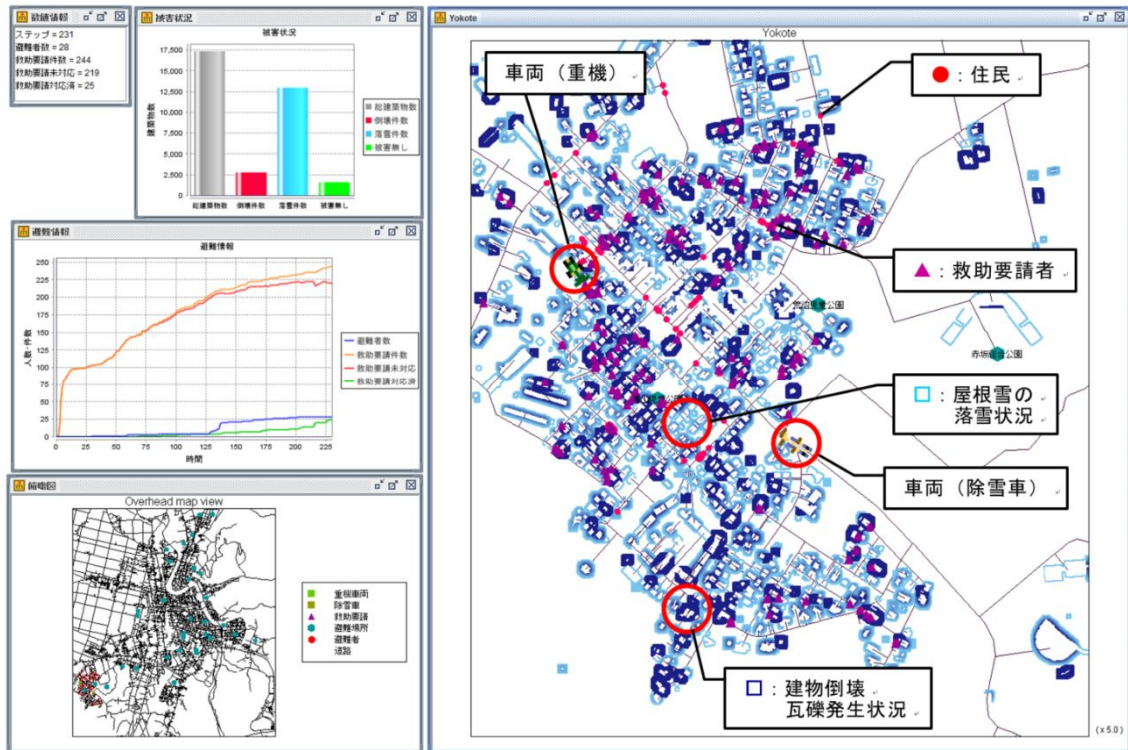


図3 開発した震災軽減支援システムの横手市への適用例

上記のように、本研究では過去の積雪期地震時の被災と対応の実態を解明し、雪の影響の考慮可能な震災軽減支援システムの開発を行った。得られた成果は各都道府県や市町村における地域防災計画との関連が大きく、積雪寒冷地の地震対策に新たな方向性を与えるものとしてその意義は大きいと考えている。また、積雪寒冷地での防災問題をより詳細かつ具体的に追求することになり、将来的には国や県の防災対策に対して相互補完的に寄与することが期待される。今後は、引き続き積雪期に発生した地震について文献調査を進め、震災軽減支援システムについても妥当性・有効性を検討し、評価を受けて必要な改良を行いたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 水田敏彦、鏡味洋史	4. 巻 27
2. 論文標題 豪雪下で発生した2011年長野県北部地震の長野側地元紙信濃毎日新聞記事による雪に関する文献調査	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 1110 - 1115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 水田敏彦、鏡味洋史	4. 巻 36
2. 論文標題 1918年大町地震の被害に関する文献調査 流行性感冒下での被害地震 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 歴史地震	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 水田敏彦、鏡味洋史	4. 巻 26
2. 論文標題 1872年浜田地震の被害調査報告および関連資料の文献調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 1276 - 1281
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijt.26.1276	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 水田敏彦、鏡味洋史	4. 巻 26
2. 論文標題 1964年新潟地震による秋田県の被害に関する文献調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 814 - 819
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijt.26.814	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水田敏彦	4. 巻 56
2. 論文標題 常時微動連続観測に基づく特別豪雪地帯住宅の冬期振動特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東北地域災害科学研究	6. 最初と最後の頁 197 - 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水田敏彦、鏡味洋史	4. 巻 25
2. 論文標題 1968年十勝沖地震による秋田県での被害に関する文献調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 527 - 530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.25.527	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水田敏彦、鏡味洋史	4. 巻 25
2. 論文標題 積雪期に発生した1927年北丹後地震の雪に関する写真資料による文献調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 531 - 534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.25.531	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水田敏彦、鏡味洋史	4. 巻 55
2. 論文標題 1906年および1982年の秋田県森吉・阿仁の地震による被害に関する文献調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tohoku journal of natural disaster science	6. 最初と最後の頁 145 - 150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 水田敏彦
2. 発表標題 豪雪下で発生した2011年長野県北部地震に関する文献調査
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水田敏彦
2. 発表標題 1918年大町地震の被害に関する文献調査 スペイン風邪流行下での被害地震 -
3. 学会等名 歴史地震研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水田敏彦
2. 発表標題 1964年新潟地震の秋田県における被害に関する文献調査
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水田敏彦
2. 発表標題 常時微動連続観測に基づく特別豪雪地帯住宅の冬期振動特性
3. 学会等名 日本自然災害学会東北支部（東北地域災害科学研究集会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水田敏彦
2. 発表標題 1906年および1982年の秋田県森吉・阿仁の地震による被害に関する文献調査
3. 学会等名 日本自然災害学会東北支部（東北地域災害科学研究集会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	鏡味 洋史 (Kagami Hiroshi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------