

建築ストック・フローに着目した災害廃棄物発生量の将来推計手法の開発

大阪市高速電気軌道株式会社 山本 玲於奈^{*}

和歌山大学食農総合研究教育センター（紀伊半島価値共創基幹） 中尾 彰文

和歌山大学システム工学部 吉田 登

要旨

本研究では、建築ストック・フローの将来変化を踏まえた災害廃棄物発生量の推計手法を提案した。提案した推計手法は、入手可能な統計データと一定の仮定に基づき、将来の建築ストックと建築フローの変化を考慮して、災害廃棄物発生量を推計する手法を確立することを目的とした試行モデルである。建築ストック統計や建築フロー統計などの入手可能な統計データは、建築ストックの新陳代謝をパターン化し、建築ストック量の将来変化を推定するために使用される。分析の結果、将来の建築ストックに占める建物構造種別と築年数割合の変化が推計値を変動させる主な要因であること、それに伴う被害率の軽減が災害廃棄物発生量に影響を与える可能性があることが定量的に示された。以上の要因に対する予防・軽減策を提示し、試行モデルが具備すべき要件を整理するとともに、課題点を抽出したうえで、それらを改善するための方向性を取りまとめた。

Development of a Method for Estimating Future Disaster Waste Generation Focusing on Building Stocks and Flows

Osaka Metro Co., Ltd. Reona YAMAMOTO*

Wakayama University Center for Food & Agriculture Research and Education Akifumi NAKAO

Wakayama University Faculty of Systems Engineering Noboru YOSHIDA

Abstract

This study proposes a method for estimating the amount of disaster waste generation based on future changes in building stock and building flow. The proposed estimation method is a trial model that aims to establish a method for estimating the amount of disaster waste generation based on available statistical data and certain assumptions, considering future changes in building stock and building flow. Available statistical data, such as building stock and building flow statistics, are used to pattern the metabolism of the building stock and to estimate future changes in the amount of building stock. The results of the analysis quantitatively show that changes in building structure type and age ratio in the future building stock are the main factors that cause changes in the estimates, and that the associated mitigation of damage rates may affect the amount of disaster waste generated. The study also identifies issues that need to be addressed, and outlines directions for improving these issues.

建築ストック・フローに着目した災害廃棄物発生量の将来推計手法の開発

大阪市高速電気軌道株式会社 山本 玲於奈*

和歌山大学食農総合研究教育センター（紀伊半島価値共創基幹） 中尾 彰文

和歌山大学システム工学部 吉田 登

1. はじめに

日本は阪神淡路大震災や東日本大震災など多くの大規模災害を経験しており、30年以内に南海トラフ地震が発生する確率は70~80%、30年以内に首都直下地震が発生する確率は70%程度と予測されている。南海トラフ地震に代表される大規模地震発生切迫性が高まっており[1]、それぞれの地震に対して被害想定や災害に対する備えが必要となっている。災害に対する備えの一つである国土強靱化基本計画[2]では、「大量に発生する災害廃棄物の処理の停滞により復興が大幅に遅れる事態を回避すること」を基本目標として掲げており、自治体は環境省が定める災害廃棄物対策指針[3]を参考として、災害廃棄物処理計画（以降、「処理計画」という）の策定・改訂をはじめとした、事前の対策を講じている。処理計画では、災害廃棄物発生量（以降、「発生量」という）を事前に推計し、適切かつ円滑・迅速に処理するための対応に必要な事項を取りまとめている。発生量を推計する手法としては、発生原単位（以降、「原単位」という）に被害を乗じて算出する方法がある。多くの自治体が処理計画を策定する際に使用する代表的な原単位は、東日本大震災における災害廃棄物処理量の実績値を統計的に解析した117[t/棟]と、阪神・淡路大震災における災害廃棄物処理量の実績値から建物構造別に、木造:0.696[t/m²]、RC造:1.107[t/m²]、S造:0.712[t/m²]がある[3]。近年では、環境省の検討会[4]や中尾ら[5]のように、固定資産

の価格等の概要調書（以降、「概要調書」という）などの統計データを用いて推計精度を向上させる試みがなされている。

これらの原単位の構成要素である建築ストックは、過去から現在に至るまでに建設された構造物であり、そのストック量や木造と非木造などの建物構造割合は、将来的に変化することが予測される。建築ストック量の変化に影響を与える要因として、小見ら[6]は建物の長寿命化、大西ら[7]は建築ストックの需要シナリオや将来の居住形態や人口動態・経済成長などの社会変化を挙げている。実際、大西らは、人口減少により建築ストックの需要量が減少すると予測している。これらの予測をそのまま受け止めると、地域の建物構造条件の変化により建物の平均延床面積は増減し、人口減少などに伴い建築ストック量も減少することが見込まれる。そのため、将来の原単位や発生量は、自治体の処理計画ですでに設定されている値とは大きく異なる恐れがあり、発生時に想定外の事態を招き、適切かつ円滑・迅速に処理が困難になる可能性がある。これまでの発生量推計に関する研究は、過去の大規模災害の実績値をもとに発生量の推計精度を向上させることを目的としたものであり、人口減少社会における中長期的な視点に立った処理計画策定の基礎となる将来の発生量の推計を目的とした研究は少ない。

一方、建築分野では、一人当たりの延床面積や人口と延床面積の変化率に着目した重回帰分析を

用いた研究など、建築ストックの将来変化を予測する研究がすでにいくつか行われている。この分野ですでに確立されている建築ストック・フローの将来変化を予測する手法を、災害廃棄物分野に取り入れることで、中長期的な視点に立った処理計画の策定に資する推計手法を提案することができると考えられるが、そのような研究はこれまでなされてこなかった。このような現状を踏まえ、山本ら[8]は、過去の建築ストックの推移に着目し、将来人口に応じた建物の変化を組み込んだ将来の発生量を推計する手法を提案した。しかし、この提案手法では、過去の建築ストック推移を把握するための統計データの属性に、建築ストックの築年数内訳などの属性データが含まれていないために、建物構造ごとに被害率を設定することができていない。そのため、すべての構造物に対して一律の被害率を設定しており、この点に改善の余地があることなどが課題として挙げられる。

そこで、本研究では、建築ストック・フローの将来変化を踏まえた発生量の推計手法を提案することを目的とする。また、提案する推計手法および推計結果に関する考察を行い、課題を抽出し、それを改善するための方向性を整理する。

2. 分析方法

本分析は、これまでの建築ストック・フローに着目した推計であり、建築ストックの把握のために「概要調書」を、建築フローの把握のために建築着工統計調査（以降、「着工統計」という）をそれぞれ使用する。対象地域は、和歌山県の15市郡（9市6郡）とする。なお、使用する統計データの予備的分析の結果により、市町村単位（特に規模の小さな市町村）では1つの建築物の増減が分析結果に大きな影響を与えることが判明したため、その影響の排除のため、市町村ではなく市郡を対象とした。対象期間については、対象地域である和歌山県が長期人口ビジョン[9]の目標年次として掲げている2060年までとする。

まず、図1に示す推計手法に従い、現在（使用した統計データの最新年度である2019年）の建築ストック現存量における、構造・築年数別内訳を推計する。各年度で新たに着工された建物量を把握できる着工統計に、構造・築年数別の残存率[6]（以降、「ワイブル分布」という）を乗じて、現存するすべての建物が把握できる概要調書と紐付けることで、構造・築年数別内訳の把握が可能となる。なお、統計データでは把握しきれなかった1992

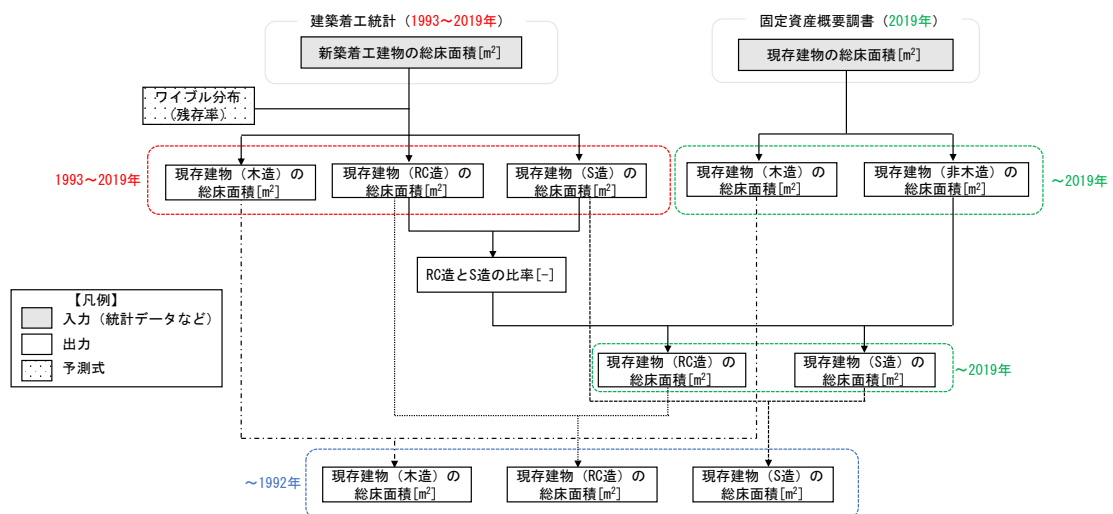


図1. 現在の建築ストック現存量の構造・築年数別内訳の推計手法

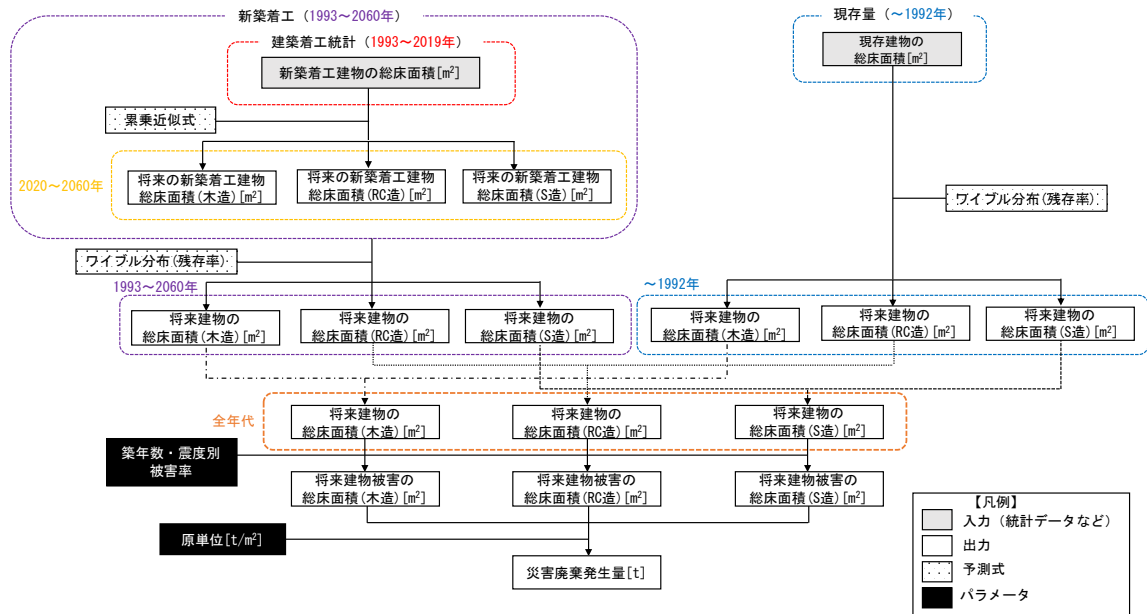


図 2. 将来災害廃棄物発生量予測手法

年以前の総延床面積については、概要調書の総延床面積から、着工統計から求めた総延床面積(1993年以降)を差し引くことで算出する。構造種別については、概要調書では木造・非木造のみであるが、着工統計では非木造をより詳細に分類(RC造・S造)されている。ここでは、その比率を用いて概要調書の非木造の内訳(RC造・S造)を算出する。

次に、将来の発生量の予測手法を図2に示す。1993～2019年までの着工統計の新築着工の傾向が将来も継続するものと仮定し、累乗近似式を用いて将来に着工される建物の延床面積を予測する。ここでは、構造・築年数別に応じたワイブル分布を用いて、2060年における総延床面積の現存量を算出する。以上により、2060年における構造・築年数別内訳の把握が可能となる。2060年における現存量に、震度毎の構造・築年数別の被害率を乗じることで、被害を受ける総床面積を算出する。具体的な被害想定的手法として、東京都が「南海トラフ巨大地震等による東京の被害想定[10]」で、過去の地震による計測震度と全壊率・半壊率の相関曲線を作成し、これをもとに構造・築年数別(木

造6区分・非木造3区分)の被害率を示しており、それを使用する。また、想定する震度は、和歌山県が地震被害想定[11]で示す、南海トラフ巨大地震の震度予測図を用いる。市郡の人口集中地区を考慮し、市群ごとに想定される震度を決定する。震度を計測震度に変換する際は、最大値を想定するため、計測震度の幅の最大値を使用する。以上により算出した将来建物被害の総延床面積に、単位面積当たりの原単位を乗じて、式(1)に従って発生量を推計する。なお、原単位は内閣府が示す、木造:0.696[t/m²]、RC造:1.107[t/m²]、S造:0.712[t/m²]をそれぞれ使用する。

$$Y = aX \quad (1)$$

3. 推計結果

3.1 現在の現存量推計

現在(2019年)の年代・構造種別現存量の推計結果を表1に示す。1992年以前に建てられた木造建築物の割合がもっとも小さいのは岩出市の42.4[%]、もっとも大きいのは海草郡の86.6[%]であった。1992年以前に建てられた非木造建築物

表 1. 現在の年代・構造種別現存量

市郡	木造		RC造		S造	
	-1992	1993-2019	-1992	1993-2019	-1992	1993-2019
和歌山市	56.2%	43.8%	57.9%	42.1%	57.9%	42.1%
海南市	69.3%	30.7%	67.3%	32.7%	67.3%	32.7%
橋本市	66.5%	33.5%	55.2%	44.8%	55.2%	44.8%
有田市	65.1%	34.9%	73.0%	27.0%	73.0%	27.0%
御坊市	72.6%	27.4%	56.8%	43.2%	56.8%	43.2%
田辺市	75.6%	24.4%	54.2%	45.8%	54.2%	45.8%
新宮市	73.1%	26.9%	48.4%	51.6%	48.4%	51.6%
紀の川市	65.9%	34.1%	60.2%	39.8%	60.2%	39.8%
岩出市	42.4%	57.6%	38.9%	61.1%	38.9%	61.1%
海草郡	86.6%	13.4%	69.4%	30.6%	69.4%	30.6%
伊都郡	81.1%	18.9%	59.4%	40.6%	59.4%	40.6%
有田郡	74.9%	25.1%	66.9%	33.1%	66.9%	33.1%
日高郡	77.9%	22.1%	61.8%	38.2%	61.8%	38.2%
西牟婁郡	71.2%	28.8%	61.8%	38.2%	61.8%	38.2%
東牟婁郡	81.1%	18.9%	55.1%	44.9%	55.1%	44.9%

(RC造・S造)の割合がもっとも小さいのは岩出市の38.9[%]、もっとも大きいのは有田市の73.0[%]であった。このことから、岩出市は1992以降の建築物がそのほかの市郡よりも多いことが読み取れる。

3.2 建築ストック現存量の将来推計

2060年における建築ストック現存量の推計結果と2019年からの変化率を表2に示す。各市郡の変化率(2019年比)を確認すると、木造建築物の増加率がもっとも大きいのは岩出市の+26.7[%]、減

少率がもっとも小さいのは海草郡の-61.2[%]である。非木造建築物の増加率がもっとも大きいのは岩出市で+153.1[%]となり、減少率がもっとも小さいのは西牟婁郡の-34.3[%]であった。このことから、2060年における岩出市の建築ストック現存量が、木造と非木造ともにそのほかの市郡よりも増加することを示している。2060年における県全体の建築ストック現存量は、2019年と比較して3[%]程度の減少にとどまり、これは2019年とほぼ同じである。また、2060年には木造建築物が減少し、

表 2. 将来建築ストック現存量および変化率 (2019年比)

市郡	2060年建築ストック現存量推計値[千m ²]				変化率(2019年比)[%]		
	合計	木造	RC造	S造	合計	木造	非木造
和歌山市	25,341	10,446	4,688	10,207	-9.0	-8.3	-9.4
海南市	3,653	1,502	528	1,623	-29.2	-29.7	-28.8
橋本市	4,619	2,723	654	1,243	-0.4	+1.6	-3.1
有田市	1,700	714	155	831	-24.9	-15.7	-30.4
御坊市	2,255	660	533	1,062	+4.3	-35.3	+39.6
田辺市	5,357	2,219	805	2,334	-7.2	-37.3	+40.4
新宮市	3,071	902	1,624	546	+45.9	-27.8	+153.0
紀の川市	5,582	2,822	514	2,247	-0.9	+1.0	-2.8
岩出市	5,969	2,091	2,375	1,504	+87.5	+26.7	+153.1
海草郡	1,106	226	762	118	+18.0	-61.2	+147.9
伊都郡	2,062	826	447	789	-17.8	-45.1	+22.9
有田郡	4,127	1,270	1,088	1,769	-7.7	-43.7	+28.8
日高郡	6,010	1,495	2,126	2,389	+21.8	-47.0	+113.6
西牟婁郡	2,636	1,430	577	628	-34.6	-34.8	-34.3
東牟婁郡	2,739	1,440	488	810	-20.0	-40.0	+26.8
和歌山県全体	74,543	29,422	17,180	27,940	-3.6	-21.2	+13.7

非木造建築物が増加する傾向にあることがわかった。

3.3 発生量の将来推計

2060年の発生量の将来推計値および処理計画の推計値との比率を表3に示す。全壊のみを想定した推計結果を確認すると、県全体では処理計画の推計値に比べ約60[%]減少している。市郡ごとに見ると、もっとも増加したのは橋本市の+75.9[%]となり、もっとも減少したのは有田郡の-91.2[%]であった。また、全半壊を想定した推計結果を確認すると、県全体では処理計画の推計値と比べて4[%]程度の減少にとどまり、概ね変化がないことがわかった。一方で、市郡の結果に着目すると、もっとも増加したのは橋本市の+1,046.3[%]となり、もっとも減少したのは有田郡の-51.6[%]であった。また、全壊のみを想定した結果に比べ、全半壊を想定した結果では、県全体の発生量が2.5倍程度増加することが示された。また、市郡によっては、発生量6.5倍程度になる市郡も確認された。

4. 考察

現在の年代・構造種別現存量の増加幅がもっとも大きい岩出市は、和歌山県で人口が増加傾向にある数少ない自治体のひとつである。そのため、そのほかの市郡に比べて1993年以降に建てられた建物が多い結果になったと考えられる。本推計では、パラメータとして人口変動を組み込んでいないが、建築ストック・フローの過去傾向を用いることで、ある程度人口変動も内包された推計になったと考えられる。発生量の将来推計値は、構造・築年数別の被害率をもとに推計されるため、老朽化した建物が多い市郡では、被害棟数および発生量が増加する。和歌山県の地方部に位置する市郡では、1992年以前の建築物の割合が高いため、発生量の将来推計値が大きく増加する傾向にある。つまり、このような市郡では、自治体の処理計画ですでに設定されている値とは大きく異なる恐れがあり、発災時に想定外の事態を招き、適切かつ円滑・迅速に処理が困難になる可能性がある。このような市郡では、被害率の高い老朽化した建物を順次取り壊し、被害率の低い耐震化された建物

表3. 災害廃棄物発生量の将来推計値

市郡	全壊のみ		全半壊		全壊のみ比 [%]
	災害廃棄物 発生量[千t]	処理計画比 [%]	災害廃棄物 発生量[千t]	処理計画比 [%]	
和歌山市	2,679	- 53.1	5,961	+ 4.4	+122.5
海南市	403	- 70.3	889	- 34.6	+120.7
橋本市	72	+ 75.9	470	+ 1,046.3	+551.6
有田市	189	- 64.9	420	- 21.8	+122.5
御坊市	240	- 68.0	549	- 25.3	+133.2
田辺市	621	- 66.3	1,376	- 25.4	+121.4
新宮市	50	- 79.9	276	+ 11.3	+454.3
紀の川市	79	- 18.2	508	+ 424.0	+540.2
岩出市	90	+ 50.2	504	+ 739.9	+459.1
海草郡	20	+ 11.0	105	+ 485.2	+427.1
伊都郡	31	- 12.6	183	+ 419.1	+493.8
有田郡	57	- 91.2	316	- 51.6	+452.5
日高郡	659	- 50.1	1,576	+ 19.3	+139.0
西牟婁郡	343	- 70.1	725	- 36.6	+111.7
東牟婁郡	381	- 74.7	824	- 45.4	+115.9
和歌山県全体	5,914	- 61.4	14,691	- 4.1	+148.4

に建て替えることが、発生量の将来推計値を抑制させるうえで特に重要となる。また、和歌山県の地方部では過疎化も進んでいることから、老朽化した建物の中には空き家も多く含まれていると想定されるため、空き家の除却が発生量の将来推計値を抑制する有効な対策になると考える。

5. おわりに

本研究は、建築ストック・フローの将来変化を踏まえた発生量の推計手法を提案し、その手法に基づいて推計した発生量をもとに、提示した推計手法を考察した。これにより、本研究は将来の発生量に影響を与える要因を組み込んだ基礎的な研究となったといえる。

本推計の課題としては、人口減少の要素を直接的にモデルのパラメータに組み込んでいないことが挙げられる。そのため、建築ストック・フロー

の動態だけでなく、人口の動態も組み合わせることで、人口動態の変化が大きい地域の予測を合理的な範囲で考慮することがモデル改善の方針となる。また、本研究で用いた手法は、いわゆる趨勢推計であり、これまでの統計データなどの傾向がそのまま継続すると仮定し累乗近似を用いたものである。しかし、将来を見据えると、さまざまな外的要因により都市の形態が変化する可能性がある。そのため、建物レベルでは空き家や対策や住宅政策（住宅耐震改修を含む）、街区もしくは地区レベルではコンパクトシティなどの政策誘導を盛り込んだシナリオを設定し、これらを組み込んだモデルに改良していく必要がある。以上の点は今後の課題とする。

謝辞

本研究の一部は JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2003 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 国土交通省『地球環境・自然災害に関する予測』, 2020年, <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/html/n1220000.html>, 2023年7月12日アクセス。
- [2] 内閣府『国土強靱化基本計画』, 2018年, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kk-honbun-h301214.pdf, 2023年7月12日アクセス。
- [3] 環境省『災害廃棄物対策指針(改定版)』, 2023年, http://kouikishori.env.go.jp/guidance/guideline/pdf/position_of_pointer_main.pdf, 2023年8月12日アクセス。
- [4] 環境省『災害廃棄物発生量の推計精度向上のための方策検討会の検討』, 2023年, <https://www.env.go.jp/content/000122669.pdf>, 2023年8月12日アクセス。
- [5] 中尾彰文・山本玲於奈・平井千津子・吉田登・鶴巻峰夫, “市町村別での災害廃棄物発生原単位の整備に関する研究—南海トラフ地震防災対策推進地域および特別強化地域を対象に—,” 『土木学会論文集 G (環境)』 Vol.76, No.6, 2020年, p.II_61-II_72。
- [6] 小見康夫・栗田紀之, “長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション,” 『日本建築学会』第75巻第656号, 2010年, pp.2549-2465。
- [7] 大西暁生・河村直幸・奥岡桂次郎・谷川寛樹, “全国都道府県における都市構造物マテリアルストック需要量の将来シナリオ分析,” 『土木学会論文集 G (環境)』, Vol.68, No.5, 2016年, pp.I_1-I_13。
- [8] 山本玲於奈・中尾彰文・吉田登, “建築ストックと人口の変化を考慮した災害廃棄発生量の将来推計—和歌山県の市町村を対象として—,” 『地域学研究』 Vol.52, No.1, 2022年, pp.61-79。
- [9] 和歌山県『和歌山県長期人口ビジョン』, 2015年, https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/020100/tihousousei/tihousousei_d/fil/02vision.pdf, 2023年8月3日アクセス。
- [10] 東京都『南海トラフ巨大地震等による東京の被害想定』, 2013年, https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/_res/projects/default_project/_page/001/000/402/part3-4-2.pdf, 2023年8月3日アクセス。
- [11] 和歌山県『和歌山県地震被害想定調査報告書(概要版)』, 2014年, https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/d00153668_d/fil/wakayama_higaisoutei.pdf, 2023年8月3日アクセス。