

寒冷地における性能向上リフォームの適用拡大に向けた研究

主査 森 太郎^{*1}

委員 岩間 雄介^{*2}, 工藤 和樹^{*3}

本研究では、改修前住宅の住宅性能の実態、劣化状況、性能向上リフォーム適用後の劣化状況について調査を行い、また、金銭的な負担軽減策についての検討を行った。その結果、現在の断熱工法が開発された後に建設された北方型住宅であっても結露害が生じている場合が多くあり、改修を行う際には、断熱・気密に配慮した検査、改修工事を行うべきであり、そのような工事を行った住宅は、設計値と同様のレベルが維持されていることがわかった。また、このような工事は通常の改修工事に比べ、高額となるため、リバースモーゲージの活用が有効であるが、札幌市で考えた場合、中央区など地価が高い地域の方が成立しやすいことがわかった。

キーワード：1) 性能向上リフォーム、2) 寒冷地、3) 断熱性能、4) 住宅ローン、5) 地図情報

RESEARCH ON SPREAD OF RENOVATION FOR HIGHER PERFORMANCE IN COLD CLIMATE REGION

Ch. Taro Mori

Mem. Yusuke Iwama, Kazuki Kudou

In this research, we researched on the energy efficiency and the deterioration before and after renovation under cold climate which easily cause problem such as dew and mold. Also, we analyzed that the mortgage to achieve renovation with energy efficiency and airtightness. As the result, we found the deterioration even in a housing after 90's which used same construction method. We recommend renovating and at least to inspect a housing situation with air and thermal leakage. Also, in the areas where have high land price, the reverse mortgage is easy to apply.

1. 序論

1.1 本研究の背景

人口減少に伴った、空き家問題は最も深刻な都市問題の一つである。しかし、わが国では人口減少率が高いにも関わらず、現在も高い新築率が継続している。そのため、都市域の拡大を伴った新築住宅の建設がつづくインフラの維持域の拡大等、都市経営上の問題も生じるとされている。また、欧米各国が中古住宅の流通を活性化させることで、住宅建設投資を住宅資産額として維持している一方で、わが国ではそれを取り壊してしまうことで、先人達の投資を一旦ゼロにしてしまうため、投資と資産の間に大きな差が生じている。この状態の有力な対処方法のひとつが空き家になることが予想される住宅に対して改修（リフォーム）を行って、室内環境の向上をはかりつつ、次の住民に引き継いでいくことである。一方、このような改修事業はあまり実施されていない。その理由としては、改修コストが高額であり、特に寒冷地では、断熱性能を担保できる改修を行うとほぼ新築同様の価格帯となり、メリットが少ないためとされてきた。

しかし、北海道では、これまでも産学官連携で寒冷地住宅、北方型住宅の開発が行われ^{注1)}、最近では、北海道 R 住宅事業^{注2)}が実施されており、それに伴って、北洋銀行が新築同様の 35 年ローンを開発したことで適用住宅数も 800 件程度となっている。そこで、本研究では、北海道 R 住宅が建設される際に行われる、住宅検査を利用して、改修前住宅の住宅性能の実態、劣化状況、性能向上リフォーム適用後の劣化状況について調査を行うとともに、性能向上リフォームを実施する場合の金銭的な負担軽減策についてシミュレーションを行う。また、負担軽減策にはノンリコース型のローンが必要であるが、現在、この種のローンは土地価格を融資基準としているため地域によっては適用できない場合があり、そこで、地図情報をもとに、適用可能性について検討を行う。

2. 改修住宅と改修が予想される住宅の性能把握

2.1 本節の目的

本節では、北海道における木造高断熱住宅の断熱性能の劣化についてまとめる。断熱性能の劣化について報告

^{*1}北海道大学 准教授 博士（工学）、^{*2}北海道大学大学院生 修士（工学）、^{*3}NTT ファシリティーズ 修士（工学）

することについて二つの意味があると考えられる。一つ目は、近年、全国的に増加している高断熱住宅の将来的な改修に向けた知見の提供である。次章でも説明するが、北海道では、木造高断熱住宅の開発が早くから行われ、1980年代からは本格的な供給が行われている。現在、それらの住宅が改修の時期を迎えており、様々な工法が断熱性能や躯体にどのような影響を与えたのかが観察できる機会となっている。二つ目は、断熱改修に関する知見の提供である。趙ら¹⁾は、新築購入者が既存住宅を購入しなかった理由として、外観的に購入意欲が湧かないこと、リフォームに対する知識や情報の不足と既存住宅の品質・性能に対する不安があることを報告している。近年、全国的に人口減少に伴って空き家が増加し社会問題となっている。空き家は単に対象住宅が危険であるだけではなく、エリアの価値を棄損してしまうため、すみやかに改築または改修することが望ましいが、解体、新築するよりも、改修によって現代住宅のレベルに向上されることができれば、廃棄物削減、地域での資金、資源循環、景観維持等の観点から望ましいことは言うまでもない。また寒冷地の場合、中古住宅は断熱性能の面で問題が多いため、そのままでは流通できないことも多く、更に部分断熱改修では、湿害によって著しい劣化が生じる場合があり、慎重な設計、施工が要求される。長谷川ら²⁾³⁾⁴⁾は、東北地方の改修種類（全体改修、部分改修、部位改修）の異なる断熱改修をされた戸建住宅6軒を対象に実態調査を実施した。その結果、断熱改修の計画では断熱の程度や改修部位について入念な検討が必要であり、特に部分改修や部位改修では想定した断熱区画の総合的な熱損失の低減と、気密性能の確保が重要³⁰⁾であることを報告している。鎌田ら⁵⁾は、北海道の既存住宅を対象に断熱改修前後で実態調査を行い、改修によって居室の温度環境の改善や新築同様の気密性能の確保が可能であることを報告している。この様に、断熱改修は非常に難しい技術が要求される工事であり、間違った工法が適用された場合、著しい劣化が生じる可能性がある。本報告では断熱改修した住宅の劣化について測定を実施しており、断熱改修の劣化についても情報を提供できる。

そこで本節では、寒冷地における中古住宅流通活性化への知見となることを目的とし、北海道 R 住宅事業により全体断熱改修された住宅と、今後改修対象となる既存住宅を対象に、性能劣化の有無の検討および室温変動の分析を行った。

2.2 現状ストックの断熱性能・気密性能

北方型住宅の履歴システムに登録されている住宅の Q 値と C 値を図 2-1、図 2-2 に示す（2007 年以降、約 3000 件のデータ）。これらは長期優良住宅であり、Q 値はほとんどの住宅が省エネ基準である $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ 以下を満たしている。また C 値の基準は $2.0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 以下であるが、 1.0

cm^2/m^2 以下を満たしているものが多い。

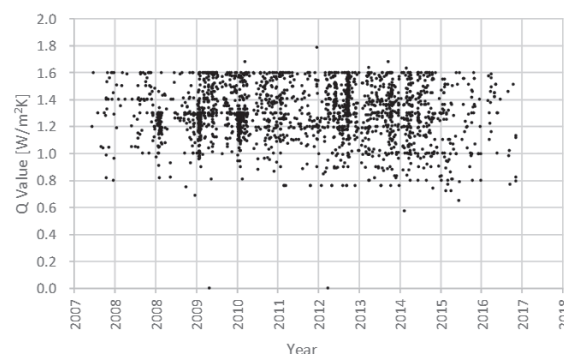


図 2-1 北海道住宅履歴システムに登録されている熱損失係数

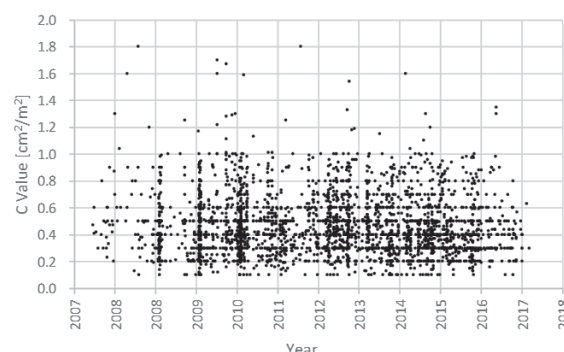


図 2-2 北海道住宅履歴システムに登録されている気密性能（ほとんどが実測値と考えられる）

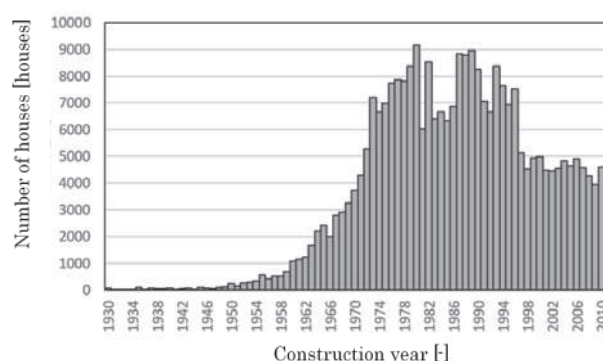


図 2-3 札幌市内の住宅ストック

図 2-3 は札幌市内の現状の住宅ストックの建設年の推移である（2012 年の都市計画基礎調査により作成）。70 年代と 90 年代の住宅の数が増えているのがわかる。現在、北海道では 70～80 年代の既存住宅を対象として全体改修が行われることが多いが、これらは断熱工法が未成熟であったため全体改修しか選択できない場合が多い。しかし先述のように、数年後には 90 年代の北方型住宅が事業の中心となると考えられる。これらは現在と概ね同様の断熱工法が採られているため、部分的な改修によって性能を回復または向上できる可能性があり、今後どのように住宅の健全性を判断するかが事業の成否の重要な

要素となる。そこで本節では、1980 年代の断熱性能はあるものの、工法に未熟な点があった住宅を全体断熱改修した住宅と、1989 年以降の既存住宅の劣化について取り扱う。

2.3 北方型住宅の劣化調査

2.3.1 アンケート調査

北方型住宅の劣化状況を明らかにするため、アンケート調査を実施した。概要を表 2-1 に示す。調査対象は 1990 年代に旭川市、札幌市（北区、豊平区）、北広島市に建設された住宅である。国内初の大規模な高断熱住宅団地であり、今後の高断熱住宅の劣化や改修を考える場合、貴重な資料になると考えられる。

図 2-4 に、居住年数を示す。72%が築「20～30 年未満」の住宅、つまり 1990 年代前後に建てられており、これらは現在 65 歳以上の年金生活者が購入したものも含まれている。また、「5～10 年未満」及び「10～20 年未満」のところでは中古住宅を購入したものと思われる。

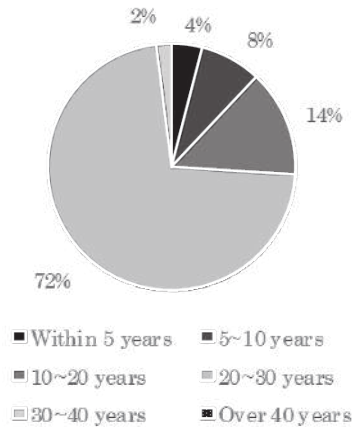
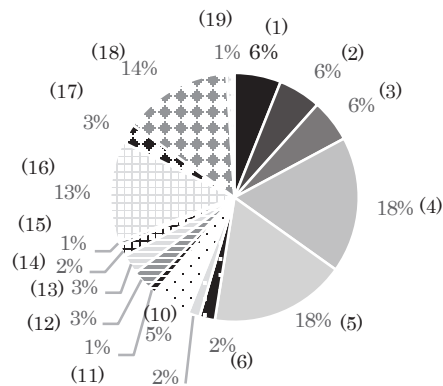


図 2-4 居住年数

図 2-5 に、改修・維持保全内容（複数回答可）を示す。築 20～30 年を超えているものも多いため、北方型住宅であっても様々な改修が実施されている。改修内容として最も多かったのは、「外壁の塗り替えや貼り替え」、「屋根の塗り替えや貼り替え」等といった比較的他人の目にしやすい部分であった。また、「暖房設備の交換」や「給

湯設備の交換」等の設備も同時に改修を行うパターンが多くみられた。その一方、「バリアフリー化」、「地震対策としての補強」を行ったケースは少なかった。北方型住宅の認定には当初からバリアフリー対応や耐震等級 2 以上が求められているため、改修が不要であったと考えられる。また既に外壁、屋根、暖房・給湯設備の改修が行われているケースが多くある一方で、「窓ガラス・サッシの交換」、「換気装置の交換」はあまり行われておらず、これ以前の住宅とは異なった傾向にある。さらに、北海道の住宅に良く設置される「風除室・サンルームの設置」もされておらず、ドアが十分な性能を持っており、また玄関廻りのデザインに配慮を求めているため、風除室の必要がなかったためと考えられる。



(1) 内装の交換	(2) 台所、風呂の交換	(3) 配管の交換
(4) 外壁の塗装	(5) 屋根の塗装	(6) 増築、ガレージ含む
(7) 減築	(8) 風除室の設置	(9) 断熱材の交換
(10) 窓の交換	(11) 気密工事	(12) ガレージ、カーポート
(13) バリアフリー	(14) バリアフリー	(15) 耐震化
(16) 暖房設備の交換	(17) 換気システムの交換	(18) 給湯設備の交換
(19) その他		

図 2-5 改修・維持保全内容

図 2-6 に、カビや汚れが発生している場所を示す。(1)「壁や天井にある格子状の汚れ」は、壁や天井内に冷気が侵入し、結露が生じることで、室内の埃が付着した形態の汚れである。下地がある部分との温度差で格子状の汚れ

表 2-1 アンケート調査の概要

Target	Detached house residents in Sapporo, Kitahiroshima and Asahikawa
Survey time	2017
Number of houses	51
Survey item	Respondent resident municipality, Job, Age, Number of residents, Economic condition Residence years, How much do you feel the house is big, Floor area, Renovation contents, Do you want to continue living in the future, How much do you feel heating cost, Devices for heating saving, How much utility cost does it have on households, Place where mildew or dirt is generated, Place where condensation occurs, What do you feel necessary for high quality housing development and dissemination of maintenance

が生じる、下地に沿った格子状の汚れである。(2)「壁や天井にある雨漏りのような汚れ」は、天井部の断熱不足や、気密の低さといった不十分な断熱施工により発生するすがもりである場合が多い。(3)「コンセント付近の汚れ」は、コンセント部の気密が不十分である際にコンセントボックスを通して、壁内に空気が抜けることで発生した結露に伴う汚れである。(4)「換気口周辺の汚れ」は、防湿層施工が不十分である際に換気口が冷却され、結露が発生することに起因する。(5)「窓周辺の結露、ビ」は、サッシを含む窓性能が不十分である際に発生する。(2)、(4)、(5)の申告が多い。(2)に関しては、深刻な被害となっている場合も多いため、周辺の全面的な改修が求められる。(4)に関しては、換気システム周辺の気密部材の修繕が必要である。(5)に関しては、30年前の窓・サッシの断熱性能の不足によるものである。

図 2-7 に、結露が発生している場所を示す。最も多かったのが「寝室の窓」であった。気温の低い明け方に人がいるため、室内と屋外の温度差が大きくなると思われる。対策として、こまめな換気、除湿などが挙げられる。

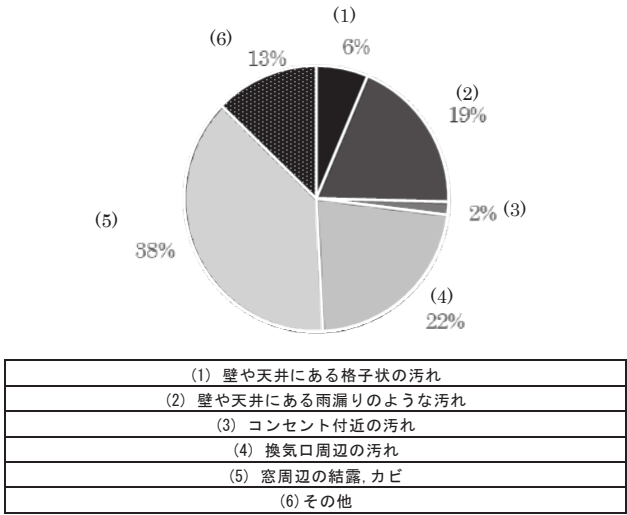


図 2-6 カビ、汚れの発生箇所

表 2-2 改修時と現在の熱損失係数の比較注 3)

House number *1	Location	House type *2	Construction year	Renovation year	Floor area [m ²]	Volume [m ³]	C-value *3 [cm ² /m ²]	Q-value *1 [W/m ² K]	Inspection day	C-value [cm ² /m ²]	Q-value *6 [W/m ² K]	Ra *8 [-]
a1	Sapporo	(1)	1984	2016	105.79	-	-	-	2016/1/1	*7	-	-
a2	Sapporo	(1)	1987	2016	101.25	-	-	-	2016/1/1	*7	-	-
a3	Sapporo	(1)	-	-	115.98	279.42	-	1.46	2016/11/1~2017/2/3	*7	1.4	0.68
a4	Sapporo	(1)	-	-	117.05	259.36	-	1.49	2017/2/3~2/28	*7	1.3	0.87
a5	Sapporo	(1)	1961	2010	156.74	400.97	2.1	1.29	2017/2/20	2.0	-	-
a6	Sapporo	(1)	1988	2010	87.77	264.28	1.0	1.56	2017/2/21	1.3	1.2	0.96
a7	Sapporo	(1)	1977	2010	129.39	297.15	1.4	1.53	2017/2/21	1.4	1.2	0.95
a8	Sapporo	(1)	1971	2010	116.64	308.90	0.8	1.42	2017/2/22	1.0	1.1	0.87
a9	Sapporo	(1)	1980	2017	105.58	268.08	-	1.45	2017/5/8	0.5	1.2	0.99
a10	Sapporo	(1)	1981	2011	103.50	248.40	1.5	1.43	2017/2/24	2.0	1.4	0.87
a11	Kitahiroshima	(1)	1980	2010	142.97	346.30	0.9	1.29	2017/2/22	1.2	0.7	0.91
a12	Tomakomai	(1)	1985	2009	116.64	283.05	0.9	1.59	2017/2/23	2.0	1.2	0.94
a13	Tomakomai	(1)	1991	2010	196.17	466.56	1.7	1.59	2017/2/23	2.6	1.9	0.90
b1	Sarufutsu	(2)	2006	-	168.11	403.46	0.6	-	2016/12/2~20	0.7	0.8	0.90
b2	Sarufutsu	(2)	2009	-	129.76	336.24	0.4	1.22	2016/12/2~20	0.7	-	-
b3	Shimokawa	(2)	1996	-	128.79	309.10	-	-	2016/8/31, 2017/1/13~15, 2/18~25	0.8	-	-
b4	Asahikawa	(2)	1990	-	129.18	310.02	~5.0 *4	*6	2017/11/10	1.4	1.1	0.65
b5	Asahikawa	(2)	1990	-	185.12	444.29	~5.0 *4	*6	2017/11/11	*7	1.2	0.86
b6	Asahikawa	(2)	1990	-	142.15	341.16	~5.0 *4	*6	2017/11/11	1.9	1.1	0.96
b7	Asahikawa	(2)	1990	-	138.38	332.11	~5.0 *4	*6	2017/11/18	3.5	1.1	0.80
b8	Asahikawa	(2)	1990	-	129.12	296.98	~5.0 *4	*6	2017/11/18	3.7	1.5	0.90
b9	Asahikawa	(2)	1990	-	141.33	339.19	~5.0 *4	*6	2017/12/11	3.7	-	-
b10	Sapporo	(2)	1991	-	130.37	306.37	~5.0 *4	1.59	2017/11/29	3.5	1.5	0.97
b11	Sapporo	(3)	1980	-	155.87	374.09	-	1.57	2017/6/29	*7	1.1	0.65
b12	Sapporo	(3)	2006	-	134.27	322.25	~2.0 *5	1.46	2017/11/29	0.9	1.3	0.99
b13	Sapporo	(3)	2004	-	117.59	282.22	-	1.76	2018/1/20	2.5	1.4	0.71
b14	Sapporo	(3)	1987	-	143.24	343.78	-	-	2016/10/24	*7	-	-
b15	Sapporo	(3)	2008	-	69.97	159.13	-	-	2016/9/17, 2016/11/10~2017/2/3	2.8	-	-
b16	Sapporo	(3)	1983	-	94.77	227.45	-	-	2017/11/6	7.4	-	-
b17	Takasu	(3)	2006	-	158.66	380.78	-	-	2018/11/28	0.4	1.7	0.82

*1 a~: renovated housing, b~: existing housing *2 (1)Hokkaido R jutaku, (2)Hoppougata jutaku, (3)General house *3 "**1" is a~: renovation value, b~: construction value

*4 recommendation of C-value before 1992 (not measurement value) *5 recommendation of C-value before 2013 (not measurement value)

*6 satisfies one of the following recommendation

①Q-value [W/m²K]→~1.74 ②U-value [W/m²K]→Roof: ~0.23, Ceiling: ~0.23, Wall: ~0.35, Outside air floor: ~0.23, Other floor: ~0.35, Aperture: ~2.33

*7 not enough air-tight to measure *8 calculated value from energy consumption

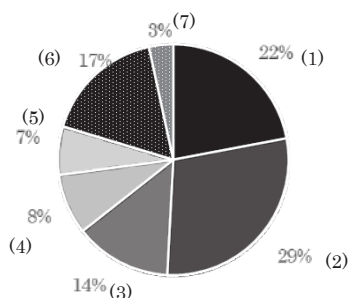


図 2-7 結露の発生箇所

2.3.2 劣化調査の概要

北海道 R 住宅事業により全体断熱改修された住宅と、北方型住宅について、住宅性能の実測を行い、経年劣化の有無を検討した。表 2-2 に対象住宅を示す。対象住宅は、札幌市、北広島市、苫小牧市にある 13 軒の改修住宅（a1～a13）と、猿払村、下川町、旭川市、札幌市、鷹栖町にある 17 軒の既存住宅（b1～b17）である。改修住宅は 1971～1991 年に建設され、2009～2017 年に Q 値 1.29～1.59W/m²K、C 値 0.8～2.1cm²/m²へと断熱改修されている。既存住宅は 1980～2009 年に建設された Q 値 1.22～1.59W/m²K（b4～b9 は形式認定*6）、C 値 0.4～5.0cm²/m²（b4～b9、b11 は形式認定*4、*5）住宅である。これらの住宅に対して、断熱性能・気密性能の検査を実施し、新築時・改修時と検査時の性能変化の解析を行った。対象住宅の気密性能を算出するため、隙間相当面積を計測した。相当隙間面積は気密測定士が気密測定器を用いて測定した。また、送風機の最大風量でも規定の内外圧力差を満たせないものは、測定不能とみなした。また、熱損失係数に関しては、断熱性能の計算書^{注3)}より熱損失係数の設計値を算出し、測定値を後述の手法を用いて算出した。なお暖房用エネルギー消費量は各月数年分のデータが存在し、近似直線の相関係数はほぼ全ての住宅において 0.8 以上であり、非常に高い結果を得られている。

2.3.3 断熱性能の推定

近年、住宅の高断熱住宅の価値が認められるようになり、断熱性能の重要性が増してきている。住宅の断熱性能の指標としては熱損失係数（Q 値）や外皮平均熱貫流率（UA 値）が代表的であるが、UA 値は換気負荷の分離が必要であり、ここでは、Q 値の推定を試みた。Q 値は設計図書断熱仕様を元に算出される^{注3)}が、既存住宅では設計図書が存在しない場合や、施工方法や施工の質、気密性能、経年劣化等により、実際の断熱性能が不明な場合が多い。このため、既存住宅の断熱改修も含め、住宅の断熱化を促進するには、建物の実際の断熱性能を推定する手法が必要である。もちろん、断熱性能の推定に関しては多くの研究が行われている。しかし、既存住宅の場合、す

でに居住者がおり、断熱性能の測定のために数日間、家を空けてもらう手法は現実的ではない。そこで、本研究では、居住者が普段の生活を行っている、その環境下において、熱損失係数を推定した。一方、そのような環境下では、生活実態、特に暖房の使い方（例：全室暖房を行っている、部屋毎に部分間歇暖房を行っている等）を精緻に確かめることは困難なため、推定には少なからず誤差が発生する。したがって、その誤差範囲を含めた推定手法を検討した。

以下に今回実施した手法を示す。月別の暖房用エネルギー消費量に暖房熱源毎の単位発熱量（電気：9.76MJ/kWh、都市ガス：46MJ/m³、プロパンガス：99 MJ/m³、灯油：36.7MJ/L）を掛け、月間日数で割り、熱量換算したものを月間暖房負荷とする。暖房設定温度と月平均外気温の内外温度差と、床面積あたりの月間暖房負荷の関係を直線近似する（図 2-8）。この際、長谷川ら⁶⁾⁷⁾と同様の手法で暖房負荷の最小値をベースとして差し引き、近似直線から大きく外れる点を取り除いた。このような処理を行うと下図のように点群に対して近似直線を引くことができ、また、相関係数を得ることができる。この近似直線の傾きを、Q 値の実績値とした。

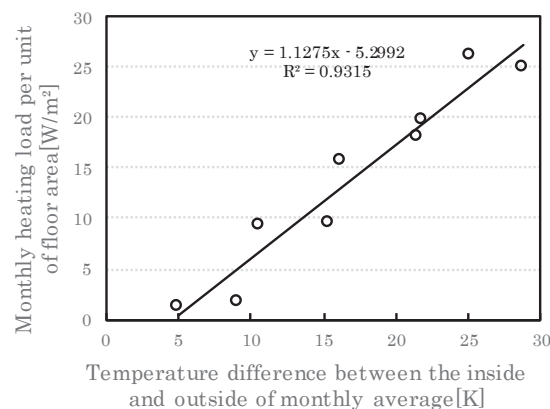


図 2-8 断熱性能の推定手法

また、実績値の誤差範囲（信頼区間 95%）を、以下の(1)～(3)式より算出した。a/S は t 分布となるため、a の 68% 信頼区間は $a \pm S$ 、95% 信頼区間は $a \pm 2S$ となる。

a	Slope	b	Intercept
$var(a)$	Dispersion of a	σ	Standard deviation
S	Standard error		

$$var(a) = \frac{\sigma^2}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}_t)^2} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - ax_t - b)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\text{var}(a)} \quad (3)$$

2.3.4 調査結果と分析

改修直後と使用後のC値の比較結果を図2-9に示す。北海道R住宅は改修直後の気密測定を義務化しており、また、履歴システムでその数値の保管も義務づけているため、このような比較ができる。比較結果は、改修住宅のRMSEは $0.56\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、平均絶対誤差率は43%であり、多くの住宅において改修値よりも検査値が高く、気密性が多少経年劣化していた。特にa12では、改修値($0.9\text{cm}^2/\text{m}^2$)と検査値($2.0\text{cm}^2/\text{m}^2$)に大きな差が見られた。しかし、ほとんどの住宅では断熱改修より約10年経過しても気密性能の大幅な劣化は確認されず、木造住宅においても適切な断熱改修を行えば性能を維持できることが確認された。

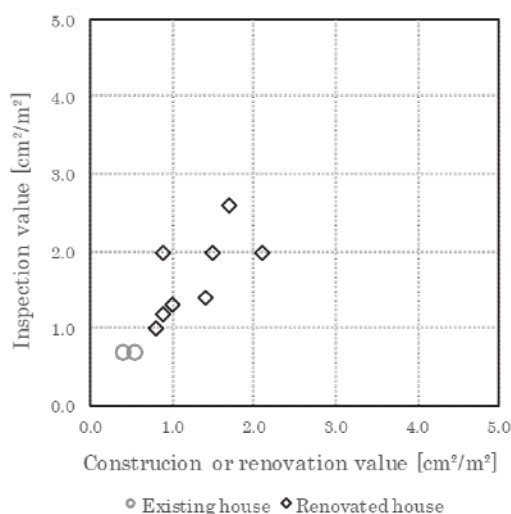


図2-9 改修時と現在のC値の比較

一方、既存住宅の検査値(表2-2)は $0.7\text{cm}^2/\text{m}^2$ (b1)から測定不能まで大きくばらつきが見られた。90年代の北方型住宅に注目すると、 $2.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ までの現状の住宅と比較しても十分な性能を出すものと $3.5\text{cm}^2/\text{m}^2$ から測定不能までのあまり性能のよくないものに大別される。北方型住宅の仕様書には防湿層の施工方法が記載されているため、 $3.5\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以上の住宅に関しては、防湿層の施工はされていると考えられるが、1990年代当時は、気流止めの重要性が認識されていなかったと考えられ、気流止めの施工がされていないため、床下から間仕切り壁等を通じて外気が流入していると考えられる。これらは築30年程の住宅であり、気密性能への十分な配慮(性能の低い窓の取り付け等)がなされていない場合は結露やカビが発生しており、劣化箇所が確認された。特に、窓やドア部分に劣化がみられる場合が多く(写真2-1)、この三点を重点的に改修することで性能向上が図れる可能性がある。

Q値の新築値または改修値と、検査値(95%信頼区間)の関係を図2-10に示す。新築・改修値に対する検査値の平均誤差は $0.32\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 、平均信頼幅は $0.36\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ であった。

また36.4%の新築・改修値が、検査値の信頼区間内に入っており、住宅性能が計算値を下回っている住宅はほとんど見られなかった。この要因として、実際の換気量が熱損失係数の計算書より過少になっていること、部屋により室温がばらついていること、暖房面積が小さくなっていることなどが推察される(今回は測定器数の都合で各住宅に2台の温湿度計を設置して測定しているが、断熱性能のよくないと考えられる住宅ほど温度差が大きくなっており、暖房面積と考えられない床面積が多いと考えられる)。さらに、既存住宅は新築値に関わらず、概ね $1.3\sim 1.5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 程度に分布していた。いずれも相関係数は高いため、この値は信頼できるものであるが、今後は暖房面積の詳細な検討を行うことで、より信頼性の高い値が算出できると考えられる。



写真2-1 窓周りの劣化

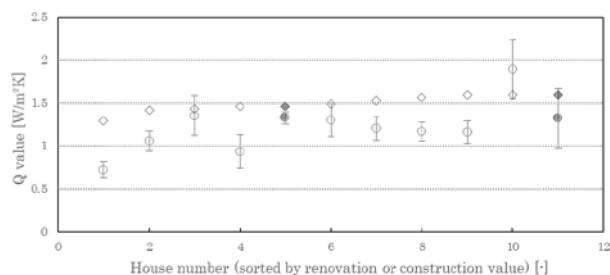


図2-10 改修時と現在の熱損失係数の比較

2.3.5 室温変動

各住宅の冬季における室温推移を実測した。図2-10-1～図2-10-2にR住宅の室温変動を示す。平均温度はリビングにおける1日間の平均温度である。標準偏差は1日間の室温変動の偏差を取っており、値が大きいほど1日間の室温変動が大きいこととなる。a6の平均温度は $20.8\sim 24.2^\circ\text{C}$ 、日標準偏差は $0.22\sim 1.62^\circ\text{C}$ を推移していた。 20°C を超えており、安定した室温を維持していた。a7の平均温度は $15.3\sim 21.1^\circ\text{C}$ 、日標準偏差は比較的大きく $1.05\sim 3.12^\circ\text{C}$ を推移していた。

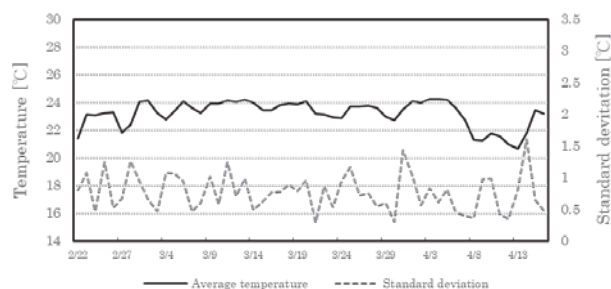


図 2-11-1 R 住宅の室温変動 a6

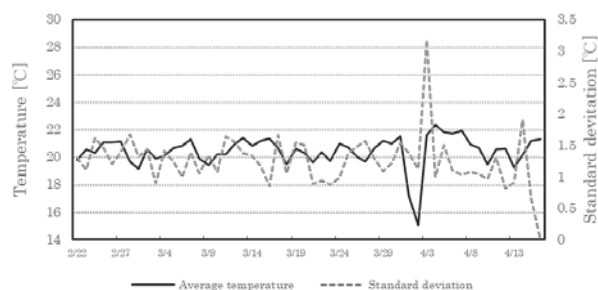


図 2-11-2 R 住宅の室温変動 a7

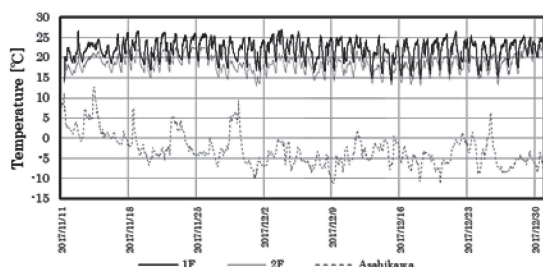


図 2-12-1 既存住宅の室温変動 b5

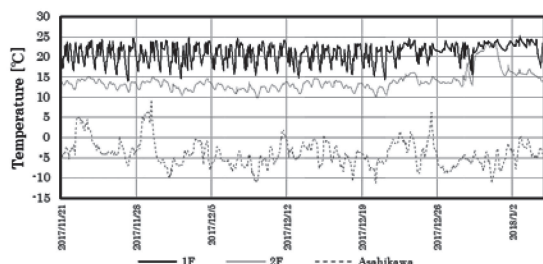


図 2-12-2 既存住宅の室温変動 b8

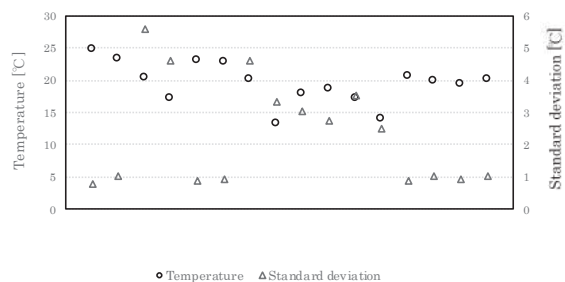


図 2-13 室温の平均値と標準偏差

図 2-12-1, -2 に既存住宅で実施した温湿度測定の結果（温度の測定期間平均値と標準偏差）を示す。温湿度測定は 2017～2018 の冬期に約 1 か月間実施した。平均室温は 15～25℃, 既存住宅においても、多くの住宅の標準偏差は約 1℃であるが, b5, b7 は 4℃以上となっている。また, 平均温度が低いと標準偏差が大きくなる傾向が認められる⁸⁾。測定対象の住宅は当時としては高断熱住宅ではあるものの, 現代の住宅と比較すると多少性能が劣る。住宅性能が劣っている住宅ほど暖房費を節約のため, 夜間の暖房停止等, 部分間歇暖房となるため, 温度変動が大きくなり, 標準偏差が拡大したと考えられる。また寒冷地の住宅では, 室間や時間的な温度差が大きいと水蒸気の移動によって結露が生じ, 汚れやカビ, 木部の劣化等が発生し, 耐久性に深刻な影響を与える場合がある。今回の住宅では測定の範囲では室間の大きな温度差は見つからなかったが, 時間的には 5℃程度の温度差（標準偏差）が生じている住宅もあり, 窓を中心に劣化も確認された。

3. リバースモーゲージを利用した住宅改修

3.1 検討の目的

前節までの結果によって, 北海道のような寒冷地では, 空き家対策として実施する改修において, 単純なリフォームでは室内環境が悪化するだけでなく, 内部結露によって住宅そのものを劣化させる可能性が高い, そこで, 全面改修を伴う性能向上リフォームを行う必要があるが, どうしても高価になってしまうため, ローンの検討が必要不可欠である。リバースモーゲージ等のノンリコース型のローンは, 担保となっている住宅の売却をした場合, それ以上の返済の義務を負わないタイプのローンのことである。この場合, ローンの利用者は借入額に対する利子のみを支払っていくことになるため, 支払額を少なくすることができる場合がある。一方, 借入額が大きくなると, 利息が高くなったり, 貸し手側が数十年後の売却に関するリスクを追わなければならない点等の検討が必要である。

3.2 使用データと対象住宅

本節では, 地図情報として, 都市計画基礎調査を利用する。都市計画基礎調査とは, 都市計画法第 6 条に基づき, 都市における人口, 産業, 土地利用, 交通などの現状及び将来の見通しを定期的に把握し, 客観的・定量的なデータに基づいた都市計画の運用を行うための基礎となるものである。また, 地価に関しては, 近年, 札幌市全域において土地取引のあった地点のデータをもとにボロノイ分割を行うことで, それぞれの建物の地価を決定した（図 3-1）今回対象とするのは札幌市全域における戸建住宅であり, 都市計画基礎調査のデータ 29 万 4490 戸から一般的な戸建住宅を抽出するために延床面積 $s(m^2)$ が $(40 \leq s \leq 180)$ となるよう制限をかけ, 取り出した 19 万 6772 戸

を対象とした。

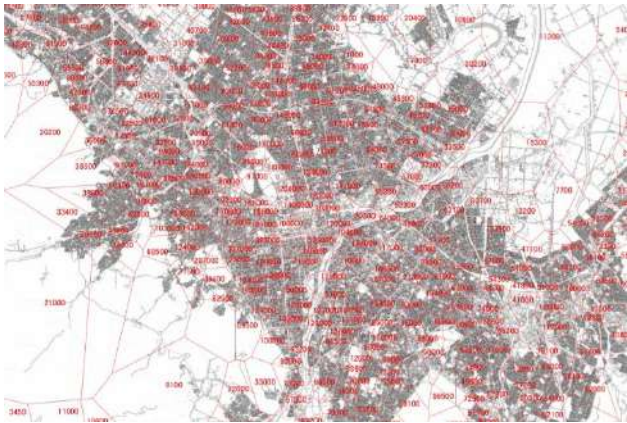


図 3-1 札幌市内の土地取引地点とボロノイ分割結果

表 3-1 住宅の標準改修コスト

		旧省エネ基準年代		新省エネ基準年代	
検討 モデル 概要	建築年	S56築		H03築	
	延床面積	105.16		131.66	
	Ua値	0.67		0.53	
改修 仕様の 概要	Ua値	0.46	0.36	0.46	0.36
	札幌版次世代 住宅基準	ミニマム (相当)	ベーシック	ミニマム (相当)	ベーシック
改修 工事 見積	見積金額	15,300,000	15,900,000	7,300,000	10,200,000
	工事代金	14,166,667	147,522,222	6,759,259	9,444,444
	消費税	1,133,333	1,177,778	540,741	755,556
(内訳)	仮設工事	1,544,657	1,544,657	510,196	678,315
	基礎工事				
	木材工事	2,398,708	2,551,588	381,040	584,448
	大工工事	1,639,387	1,793,387	1,238,400	1,774,720
	設備工事	1,503,390	1,503,390	1,407,540	1,497,830
	電気工事	1,699,050	1,699,050	329,200	329,200
	サッシ工事	553,110	553,110		385,740
	断熱工事	506,203	728,403	289,150	907,818
	板金工事	535,531	535,531	525,312	1,118,518
	パナ商品	2,526,200	2,526,200	1,263,280	1,397,530
	左官工事	329,359	329,359	90,489	90,489
	内装工事	598,530	598,530	387,894	389,414
	外構工事	37,700	37,700	13,340	13,340
	雑工事	143,140	143,140	103,150	105,790
	諸経費	250,000	250,000	250,000	250,000
	値引き	-98,298	-71,823	-29,732	-78,708

3.3 住宅改修コストの算出

改修予定である旧省エネ基準年代の住宅一戸と新省エネ基準年代の住宅一戸ずつをモデル住宅として、札幌版次世代住宅基準^{注4)}をクリアするための改修費用見積金額を標準値として使用した。また、様々な床面積の住宅に適用させるため、(内訳)に示されている項目のうち、(設備工事)と(電気工事)の費用は検討モデルの延床面積に相関しないとし、それ以外の項目は延床面積に比

例すると考えた。したがって、設備電気工事費Cを見積金額から引いて検討モデルの延床面積s(m²)で除した値を標準値kとし、以下の式で住宅改修コストC_R(円)を算出することとした。

$$C_R = Ks + C$$
 (4)

3.4 リバースモーゲージの適用可能条件

リバースモーゲージの適用可能エリアを把握するうえで必要となる担保評価による借入可能額S(円)は、土地評価額と不動産評価額の合計値となる。これより土地価格C_s(円/m²)、敷地面積a(m²)、住宅改修コストC_R(円)を用いて(5)式で表される。(k₁, k₂は将来価値を定める係数)

$$S = k_1 a C_s + k_2 C_R$$
 (5)

すなわち、リバースモーゲージ適用可能条件自己資金M(円)を用いて下式で表される。

$$C_R < S + M$$
 (6)

現在のリバースモーゲージ適用時の担保評価はk₁=0.4, k₂=0である。すなわち担保評価額は土地評価額のみにゆだねられている。しかし、図3-2のように、土地評価額のみであると借入可能額は低額となり、高額な住宅改修に利用するのは非常に困難となる。このことから、担保評価に不動産評価を入れることがいかに重要であるかがわかる。本研究ではリバースモーゲージ適用時の借入可能額の算出に、現在検討中の一例であるk₂=0.5を採用する。

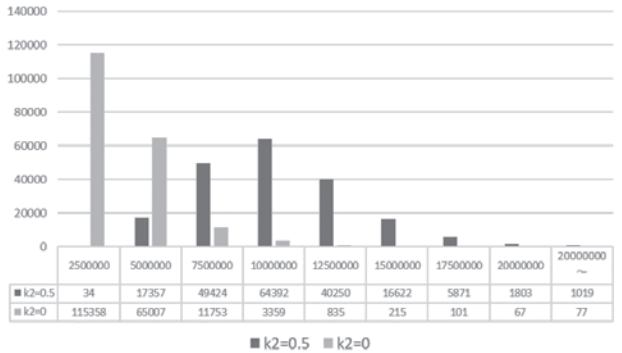


図 3-2 k2 の変化による借入可能額の変化

対象住宅の地価、借入可能額、必要自己資金について行政区ごとに分類し、k₁=0.4, k₂=0.5として任意の階級で相対度数を求めたものが図3-3、図3-4、図3-5である。借入可能額と必要自己資金に関しては、注4に示す札幌版次世代住宅基準のミニマムレベルを達成させることを条件とした場合の結果である。特徴的であるのが中央区と南区である。中央区では地価が高額である割合が高く、それに伴って借入可能額も高額である割合が高くなっている。一方で南区は地価が低額であるため借入可能額も比較的lowである割合が高い。このように地価が借入可能額に与える影響は大きく、地価が低い地域では多額の自己資金が必要になることがわかった。

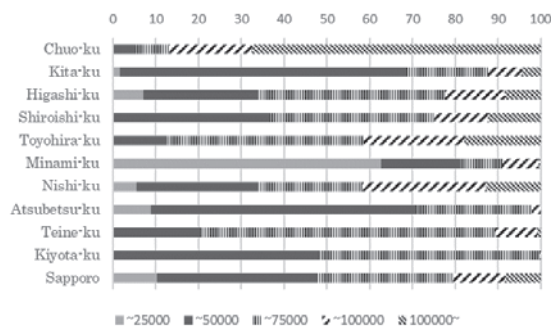


図 3-3 行政区ごとの地価の状況

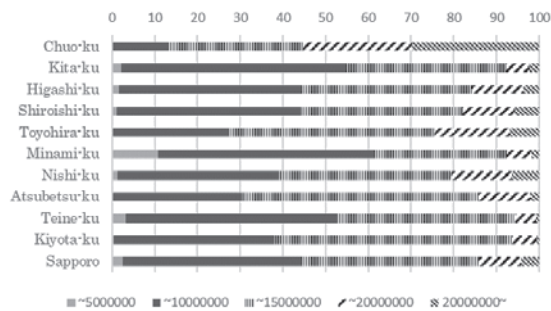


図 3-4 行政区ごとの借入可能額

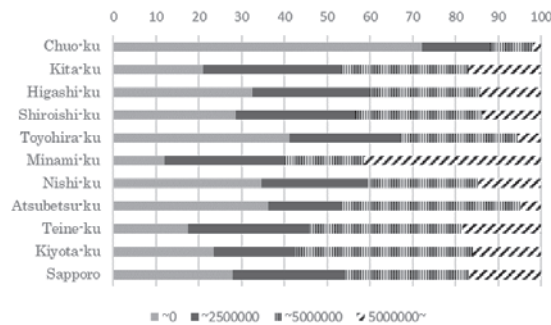


図 3-5 行政区ごとの必要な自己資金

3.5 住宅関連費用のシミュレーション

3.5.1 関連コスト

考慮すべき住宅関連費用には生活コスト、光熱費、住宅ローン、住宅改修コストが挙げられる。これらについては北海道 R 住宅ネットワークを利用したヒヤリング等をもとに積算を行った。まずローン支払額の算出を行った。リバースモーゲージ C_{RM} は、融資対象不動産の担保以外は債権の取り立てが及ばないノンリコース型のローンであるので、月々の支払額は利息分だけになる。月利 $r(-)$ 、借入額 R (円)として以下の(7)式で定義される。

$$C_{RM} = rR \quad (7)$$

また、リバースモーゲージの返済期間は定められておらず、契約者が死亡した時点で契約終了となる。

リフォームローン C_{RL} はフラット 35 の元利均等返済方式を採用する。フラット 35 は民間金融機関と住宅金融支援機構が提携して提供する最長 35 年の全期間固定金利の住宅ローンである。元利均等返済方式とは月々の支払額が一定になる返済方法であり、返済回数 N (回)とし

た場合の月々の支払額算出式を下式に示す。

$$C_{RL} = \frac{rR(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \quad (8)$$

また、本研究ではリバースモーゲージ適用時の金利を 3%、リフォームローン適用時の金利を 1.35%、返済期間を 35 年と設定し、シミュレーションを行った。次に光熱費を算出した。年間暖房負荷 E'_n (W) と、年間エネルギーコスト E_{all} (円)は暖房日数 HDD_{20-15} ($^{\circ}C day$)、在宅率(-)、世帯人数 n (人)、暖房期間 $t_{heating}$ (日)を用いて以下の(9)式と(10)式で定義した。

$$E'_n = 24HDD_{20-15}H_L\eta - (350 + 60n\eta)t_{heating} \quad (9)$$

$$E_{all} = \frac{E'_n \cdot 3.6}{0.9 \cdot 1000} \cdot \frac{70}{36.7} + 160000 \quad (10)$$

ここで使用する熱損失係数 H_L (W/ m^2K)は築年数によって異なる値を使用した。下表に年代ごとの熱損失係数を示す。

表 3-2 年代ごとの熱損失係数 (W/ m^2K)

1961~1970	6.2
1971~1980	4.2
1981~1990	2.5
1991~1995	1.7
1996~2000	1.7
2001~2005	1.6
2006~2010	1.3
2011~Sep.2013	1.3

3.5.2 検討モデル概要

リバースモーゲージの借入金額に大きく影響を及ぼす要因として、地価と住宅改修コストが挙げられる。また、将来的な費用の比較を行う際、築年数による住宅の熱損失係数の違いが光熱費の差を生み出す。住宅改修コストは、改修する住宅の築年数に関係するため、地価と築年数がそれぞれ異なる住宅を検討モデルとし、比較を行った。計算ケースについて表 3-4 にまとめた。この 7 条件において、15 年後、35 年後までの総支払額を調べた。また、表 3-5 は検討対象の住宅である。

表 3-3 計算ケース

Case 1	改修を行わない
Case 2	リバースモーゲージ (ミニマムレベル)
Case 3	リバースモーゲージ (スタンダードレベル)
Case 4	(ミニマムレベル)
Case 5	(スタンダードレベル)
Case 6	フラット 35 (ミニマムレベル)
Case 7	フラット 35 ((スタンダードレベル)

表 3-4 検討対象住宅

	1	2	3	4
建築年(年)	1968	1966	1996	1996
延床面積(m ²)	118	114	117	112
地価(円/m ²)	287,000	10,600	281,000	10,600
改修前Q値 (W/m ² K)	6.2		1.7	
改修コスト (ミニмумレベル) (円)	16,598,036	16,143,948	6,557,023	6,351,028
改修コスト (ベーシックレベル) (円)	17,162,902	16,689,666	9,137,775	8,825,350
借入可能額 (ミニмумレベル) (円)	21,845,418	8,555,334	16,429,312	3,650,394
借入可能額 (ベーシックレベル) (円)	22,127,851	8,828,193	11,719,687	4,887,555

3.5.4 シミュレーション結果

15 年後までの検討ケースごとの総支払額を比較したものを図 3-6、35 年後までの検討ケースごとの総支払額の推移を比較したものを図 3-7 に示す。前節にも述べたが、地価が初期費用である必要自己資金に大きく影響を及ぼしているのがわかる。地価の高額な地域では借入可能額が高額であるため、少額な自己資金で住宅改修を行うことができる。しかし、地価の高額な地域では借入可能額が高額である分、利息分のみである月々の返済額が大きくなるため、長期的な視点で見ると初期費用の差を覆してしまうという問題点もある。しかしリバースモーゲージは定年退職後に利用する人が多いと思われ、日本の平均寿命から考えると返済期間は 15 年から 20 年間が妥当だといえる。その結果、地価による初期費用の差が月々の返済額を上回ることはなく、地価が高額である地域ほどリバースモーゲージの経済的恩恵を受けられるといえる。

旧省エネ基準年代(1991 年以前)に建てられた住宅は新省エネ基準年代に建てられた住宅よりも住宅改修コストが高額になっている。この差は、地価が低額なほど初期費用に大きな差を生み出している。しかし、地価の高額な地域では、築年数が低い住宅であるほど改修前後で住宅の熱損失係数の差が大きく、生活していくうえで光熱費が抑えられる。そのため快適な空間で暮らすことができ、住宅改修することによる恩恵を受けられる。また、15 年間の総支払額を見ると、フラット 35 を適用した場合の総支払額も、リバースモーゲージを適用した場合と大差のないように見える。しかし、フラット 35 はリコースローンであるため残高の返済義務は残る。すなわち 35 年の返済期間終了前に契約者が亡くなった場合も返済義務は

残るため、残された家族が返済残高を支払わなければならない(もちろん、団体信用生命保険に入っている場合は別である)。したがって、フラット 35 は退職後の高齢者世帯には適用が難しいといえる。

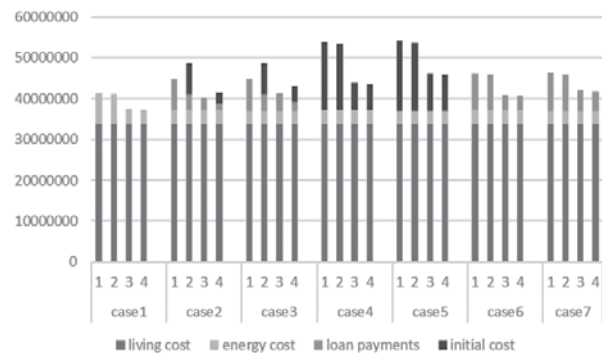


図 3-6 15 年後までの住宅関連コスト

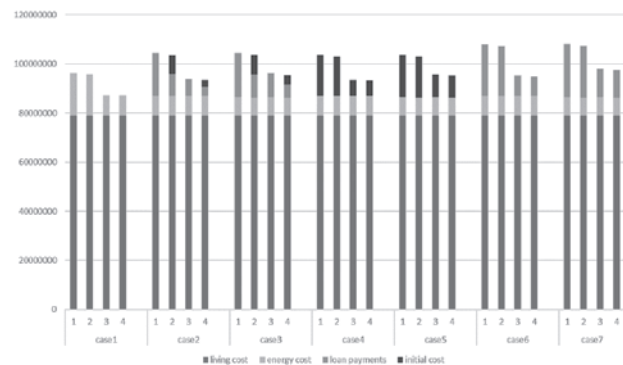


図 3-7 35 年後までの住宅関連コスト

3.6 今後の展開

本研究では、居住者が住み続けることを想定し全面改修を行うか否かでシミュレーションを行った。しかし、改修時期を迎えている住宅に住む人々には部分改修を行う場合や家と土地を売却して賃貸マンションに移り住む場合など、他にも様々な選択肢がある。性能向上の住宅改修を適用拡大していくには、そのような考えうる様々な方法に関してもシミュレーションを行う必要がある。

4. まとめ

本研究では、北海道 R 住宅が建設される際に行われる、住宅検査を利用して、改修前住宅の住宅性能の実態、劣化状況、性能向上リフォーム適用後の劣化状況について調査を行うとともに、性能向上リフォームを実施する場合の金銭的な負担軽減策についてリバースモーゲージの活用に関するシミュレーションを行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 札幌市の現在の住宅ストックのピークが 70 年代後半と 90 年前後であり、70 年代後半の住宅は今後、性能向上リフォームを行わないと空き家化する危険がある。
- 2) 現在の断熱工法が開発された後に建設された北方型

住宅であっても結露害が生じている場合が多くあり、改修を行う際には、性能向上リフォームに類する工事が勧められる。少なくとも、住宅検査は行うべきである。

3) 近年、新築、改修が行われた物件に関しては、断熱性能、気密性能は設計値と同様のレベルが維持されている。しかし、90年代の物件に関しては非常にばらつきが大きい。

4) 地価の高い地域ほど、自己資金を少なくすることができ、そのような地域の方がリバースモーゲージが成立する可能性が高い。一方、リバースモーゲージはフラット35にくらべて、利率が高いため、借入金が多いと効果が少なくなるため、地域、自己資金をパラメータとして総合的に検討する必要がある。

＜謝辞＞

本研究の実施にあたって、一般社団法人住総研の助成をうけた。記して感謝する。また、データの収集にあたって、北海道ビルダーズ協会、北海道建築指導センター、北海道建築技術協会、北海道R住宅、CIS建築計画研究所、INDI㈱の支援を受けた。記して感謝する。

＜注＞

1) 北海道の住宅開発の歴史的な背景

北海道では、1948年北海道大学建築工学科の設置、1953年寒住法、1955年寒地建築研究所の設置等を通して、古くから寒冷地向けの住宅開発が行われてきた(34)。その成果は、住宅金融公庫の融資仕様に利用され、1970年代に大量供給され、その後、荒谷らによる、外断熱RC造、ブロック造に関する研究が進められる一方で、鎌田らを中心に木造の断熱気密工法が確立され、1989年には北方型住宅事業が始まっている。北方型住宅事業は日本で初めて行政機関が基準となる熱損失係数、隙間相当面積を定めたうえで高断熱高気密住宅の普及を図った事業で、図面、工法等の技術のオープン化が進み、木造の高断熱高気密住宅の普及に大きな貢献をしている。その後も北方型住宅は、随時見直しが行われ、長期優良住宅事業(2007年)が開始された際には、北方型住宅ECO(Q値1.3W/m²K以下、C値2.0cm²/m²以下)が加わるとともに、気密性能の表示を義務付けたことで、気密性能の測定が一般的となった。

2) 北海道R住宅

北海道R住宅は、北海道R住宅ネットワークが実施している、中古住宅の全面改修を行う事業である。住宅検査、中古住宅向けローン、住宅性能の担保がセットとなっている。住宅検査制度については、施工業者とは異なる第三者(建築士)である北海道住宅検査人が目視と検査機器により既存住宅の劣化や不具合など現況調査を実施し、住宅性能向上リフォームについては、劣化した断熱材を取り除き、柱・梁などの状態を確認して、新たな断熱・気密の工事を行うことで、暖かく、省エネルギー性能の高い住宅を実現することとしている。断熱・気密の工事については、BIS認定制度の登録技術者が関わることを必須としており、また、履歴保存は、北海道R住宅サポートシステム(Webソフト)

へ改修履歴(現況調査結果、設計・施工データ、工事写真、維持管理計画、気密測定結果など)の情報の入力・保管を行う。住宅品質表示については、改修後の住宅が、どのような性能レベルにあるのかの表示(住宅品質カルテの出力)を行う。

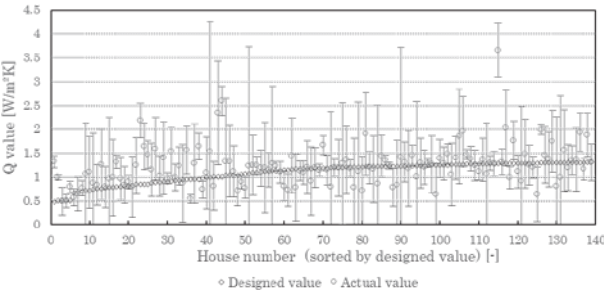
3) 札幌版次世代住宅の申請時には、Q値あるいはUA値、またそれらを用いた年間の暖房エネルギー消費量の計算を求められる。本論文で用いた貫流熱損失、換気熱損失等は設計者が求めた値である。これらを式(1)～(3)に代入し、熱損失係数を算出した。暖房エネルギー消費量の計算は北方型住宅テキスト)によっており、室内発生熱は①単位面積当たりの発生熱量を4.6W/m²として算出する方法と、②電気消費量とガス消費量による発生熱を350W、人体発生熱を一人当たりの発熱を60W/人、在宅率を50%として算出する方法のいずれかより、設計者が選択したものである。

4) 札幌版次世代住宅は、札幌市が積雪寒冷地である地域特性に応じた温暖化対策を推進するために、札幌独自の高断熱・高気密住宅の基準である「札幌版次世代住宅基準」により作られた住宅である。基準に適合する住宅を、札幌版次世代住宅として認定し(札幌版次世代住宅認定制度)、また、新築戸建て住宅を対象として、建設費の一部を補助することにより、普及促進を図っている。(札幌版次世代住宅補助制度)

現在の基準を付表1に示す。ミニмумレベルが国の省エネ基準であり、ベーシックレベル以上で抽選によって補助金を得ることができる。また、付図1は3節の方法によって札幌版次世代住宅の熱損失係数を1年間のエネルギー消費データから推定した結果である。実測値とエラーバーの範囲に計算値が概ね収まっていることがわかる。但し、エラーバーの範囲が非常に大きな住宅や計算値と推定値が大きく離れている住宅もある。

付表1 札幌版次世代住宅基準

等級		ミニмум レベル	ベーシック レベル	スタンダード レベル	ハイレベル	トップ ランナー
改修	Ua値[W/m²K]		0.36	0.28	0.22	
	一次エネルギー 消費量等級	設定なし	等級5	等級5	等級5	設定なし
	一次エネルギー 消費量[暖房+換気] の比率[設計/基準]		75%以下	60%以下	45%以下	
	C値[cm²/m²]		5.0	2.0	2.0	
	【参考】 新築		Ua値[W/m²K]	0.46	0.36	
一次エネルギー 消費量等級	等級4	等級5	等級5	等級5	等級5	
一次エネルギー 消費量[暖房+換気] の比率[設計/基準]	90%以下	75%以下	60%以下	45%以下	35%以下	
C値[cm²/m²]	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	



付図1 札幌版次世代住宅の設計値と実測値(Q値)

＜参考文献＞

- 1) 趙賢株, 高田光雄他: 住宅購入者の住宅需要特性と既存住宅流通の阻害要因に関する研究-大阪府の住宅購入者を対象とした調査結果を通じて-, 日本建築学会計画系論文集, 第 690 号, pp. 1817-1825, 2013. 8
- 2) 長谷川兼一, 松本真一他: 東北地方における戸建住宅の断熱改修による環境改善効果に関する事例研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 743 号, pp. 97-105, 2018. 1
- 3) 長谷川兼一, 松本真一他: 東北地方における戸建住宅の断熱改修による環境改善効果に関する事例研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学Ⅱ, pp. 263-266, 2011. 8
- 4) 長谷川兼一: 戸建て住宅を対象とした熱性能の測定例, 日本建築学会第 46 回熱シンポジウム資料集, pp. 63-70, 2016. 11
- 5) 鎌田紀彦, 鈴木大隆他: 北海道の戸建住宅における断熱改修の応用的研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 516 号, pp. 23-30, 1999
- 6) 長谷川兼一, 黒柳博晃他: 断熱気密住宅における気密性能と温熱環境の特性に関する考察-長野市を中心とした戸建住宅の温熱環境データベースを用いた考察-, 日本建築学会計画系論文集, 第 536 号, pp. 29-34, 2000. 10
- 7) 長谷川兼一, 吉竹秋宣他: 長野市を中心とした戸建住宅の居住環境データベースの活用-断熱気密住宅におけるエネルギー消費量の実態-, 日本建築学会計画系論文集, 第 521 号, pp. 95-101, 1999. 7
- 8) 張会波, 吉野博他: 全国 72 戸における室内温湿度環境に関する分析-住宅におけるエネルギー消費量データベースに基づいて-, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 433-436, 2007. 9
- 9) 北方型住宅テキスト, http://www.kita-smile.jp/portal/shiryou/5_gijutsu_22-6v3.pdf, reference at 2018. 2. 11

＜研究協力者＞

中寄亜衣子 北海道大学大学院工学研究院 修士課程
丸山翔栄 久米設計 当時北海道大学大学院工学研究院 修士課程