

博 士 論 文

ライフサイクルコストの不確実性を考慮した意思決定手法に関する研究
--集合住宅の省エネルギー改修を題材として

Decision making methodologies considering uncertainty in LCC evaluation
--case study of energy-saving condominium refurbishment

廖 昱嘉

ライフサイクルコストの不確実性を考慮した意思決定手法に関する研究

序論.....	5
第一章 研究の構成	5
1-1 背景.....	5
1-2 目的.....	8
1-3 方法.....	12
1-4 位置づけ.....	13
1-5 研究範囲と対象.....	18
1-5-1 研究の適用範囲.....	18
1-5-2 ケーススタディ対象の設定.....	19
第二章 住宅流通市場に関する既往研究の整理	25
2-1 日本における住宅流通市場の現状.....	25
2-1-1 居住者意識に影響される既存住宅流通シェアの現況	25
2-1-2 既存住宅市場における流通阻害の要因	26
2-2 日本における住宅価値評価と取引制度	28
2-2-1. 現行の住宅価格・価値評価方法	28
2-2-2 日本住宅市場における取引制度	32
2-3.住宅流通フレームワーク	35
第三章 不確実性下の意思決定に関する既往研究.....	40
3-1 不確実性下での意思決定過程.....	40
3-1-1 意思決定における定義・特性.....	40
3-1-2 不確実性の影響・分類.....	42
3-1-3 住宅 LCC 分析に存在する不確実性	45
3-1-4 意思決定分析において不確実性の捉え方.....	51

3-2 意思決定を支援する手法	55
3-3 LCC(ライフサイクルコスト)に関する既往研究の整理	58
3-2-1 ライフサイクルコストにおける定義と適用場面.....	58
3-2-2.LCC における計算とプロセス	60
3-2-3.建築分野における LCC 研究.....	66
3-2-4 まとめ	70
3-3 ROA (リアル・オプション分析) に関する既往研究の整理	72
3-3-1.意思決定支援手法としての ROA(リアル・オプション分析)の特徴.....	72
3-3-2.ROA のプロセスと計算方法.....	74
3-3-3.ROA に関する研究の整理	79
3-3-4.まとめ	83
本論.....	85
第四章 本研究の意思決定分析手法.....	85
4-1 住宅 LCC 分析における不確実性下の意思決定過程.....	85
4-2 不確実性を考慮した LCC 評価モデル.....	92
4-2-1 物価・利率率変動における不確実性に対する計算方法.....	92
4-2-2 部材・設備の交換周期における不確実性に対する計算方法.....	101
4-2-3 決定時点の選択に対する分析方法.....	106
第五章 省エネ改修工事にかかわる不確実性に関する考察	111
5-1 不確実性にかかわる説明変数.....	111
5-2 光熱水道費に関する考察.....	112
5-3 省エネ改修の事例と改修効果に関する考察.....	114
5-3-1 項目別における改修工事費と現時点省エネ率	114
5-3-2 省エネ：節電.....	115

5-3-3 節水	119
5-3-4 節ガス	120
5-3-5 効率向上率	122
5-4 利率・物価変動に関する考察	123
第六章 ケーススタディ	125
6-1 LCC 評価に関する入力変数の設定	125
6-2 LCC に影響を及ぼす不確実要素における感度分析	128
6-2-1 物価変動	133
6-2-2 金利変動	136
6-2-3 交換周期変動	139
6-2-4 LCC 評価に不確実性を考慮したケースまとめ	142
6-2-5 LCC 評価結果を用いた投資可否判断	142
6-3 複数代替案の意思決定問題	146
6-3-1 ケース A	147
6-3-2 ケース B	149
6-3-3 まとめ	150
6-4 意思決定時点選択問題	152
6-4-1 デシジョン・ツリーの作成	152
6-4-2 まとめ	157
6-5 ケーススタディのまとめ	157
第七章 結論	159
7-1 本研究の成果	159
7-1-1 住宅の修繕・改修・改築における意思決定手法	159
7-1-2 住宅 LCC にかかわる不確実性を評価した意思決定手法	160

7-1-3 意思決定者の選好志向を反映した意思決定過程.....	162
7-1-4 将来の変動状況に適応する動的評価を用いた LCC 評価手法	162
7-1-5 本研究の成果のまとめ.....	164
7-2 今後の研究課題.....	164
参考文献	166
付録.....	171
付録 1 マンション購入・改修実態に関するヒアリング調査.....	171
付録 2 光熱水道費に関する家計調査.....	173
付録 3 省エネ改修工事項目および見積もり	176
付録 4 内窓省エネ効果.....	180
付録 5 エアコン消費電力推移.....	181
付録 6 名目利子率・物価指数の推移.....	182
付録 7-1 本研究の分析対象となる省エネ改修代替案.....	183
付録 7-2 ケース A における各代替案の期待値・最尤値・希求水準.....	190
付録 7-3 ケース B における各代替案の期待値・最尤値・希求水準.....	191
付録 8 各変動パターンにおける各時点の LCC 最尤値評価(代替案 128).....	193

序論

第一章 研究の構成

本研究は、住宅投資に関する不確実性下における意思決定過程と、そこで活用される、不確実性をパラメーター化したLCC評価に関して論ずるものである。

本論文は、「序論」、「本論」、「結論」に大別されている。第一章から第三章までは序論、第四章から第六章は本論、そして第七章は結論である。

序論では、本研究の全体像を捉える。第一章では研究の背景・目的・方法・位置づけ・範囲と対象の概要を説明する。第二章では、住宅流通市場の現状および問題点についてまとめる。第三章では、意思決定手法に関する既往研究をまとめ、本研究が提案する手法の位置づけを行う。

本論では、本研究の核心を捉える。第四章では、本研究の意思決定手法の論理構造・適用範囲・評価モデルと評価プロセスを論じる。第五章では、特定の事例の考察を通じて評価モデルの入力変数に関する検討を行う。第六章では、第五章で定義した条件のもと、不確実性下の意思決定問題をケーススタディとして、提案手法の有用性を検証する。

結論の第七章では、本研究の成果と今後の研究課題を議論する。

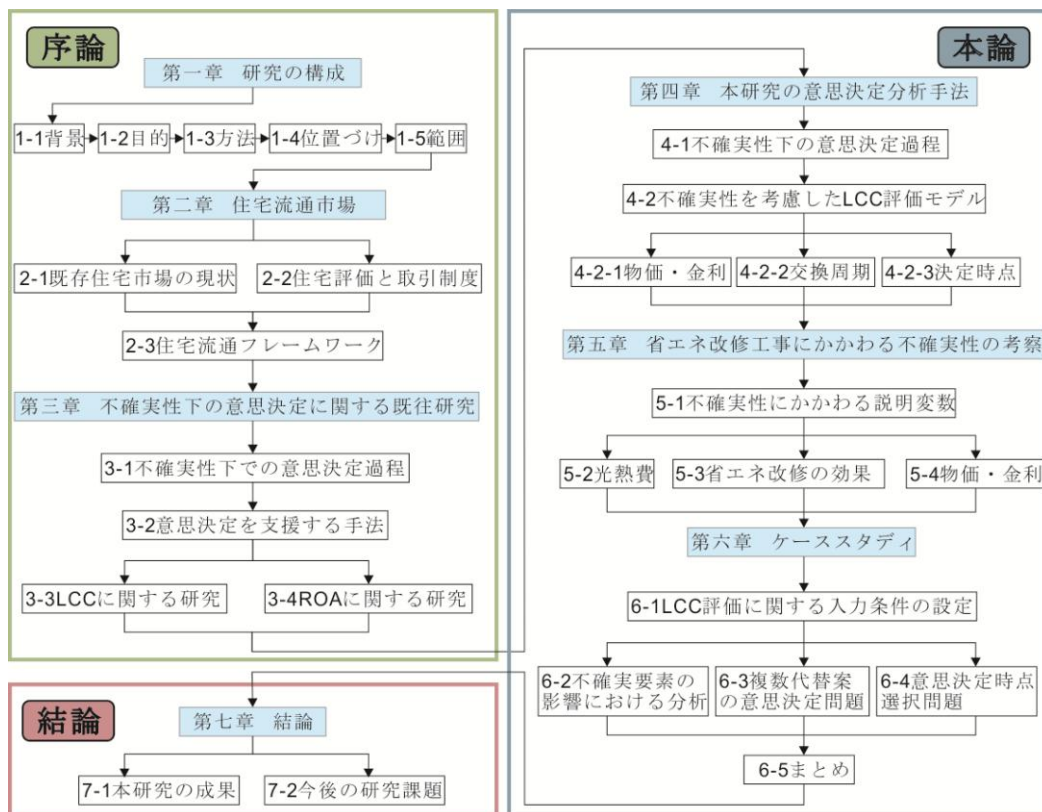


図 1-1 本研究の構成

1-1 背景

「住生活基本法」と「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が施行されて以来、日本における住宅流通のパラダイムはスクラップ&ビルド（フロー）からストックへと転換し、循環型社会構築に向けた国の施策の方向性を明らかにした¹。循環型社会構築の目標を実現するために、住宅取引市場における良い循環サイクルの形成、および住宅ストックにおける資産価値の拡大は肝心の課題と考えられる。しかし、近年における流通量統計データなどでは、既存住宅流通シェアの拡大が見込まれているものの²、現時点の市場においては、情報の非対称性が顕在しており、様々な流通阻害要因が存在しているのが現況である³。

また、住宅の住まい手の観点においては、居住行為にかかわる住宅の購入、維持管理、修繕、改修などの住宅に関する意思決定を下す際に、各ユーザー(居住者・買い手)は有用な情報に基づいて意思決定をすることが望まれるが、実際には不完全な情報のもと、物件の安全性、設備性能等の信頼性に関する判断を下し、また物件と自身のライフプランニングの間の適合性に関しては、事前に検討・判断を行うすべが欠落しているのが現況である⁴。このような情報の非対称性が既存住宅流通の円滑化を阻害する要因の一つであると考慮し、取引情報の充実化がユーザーの意思決定に対して重要であると指摘する齊藤ら⁵は、日本の住宅市場における第三者専門家による鑑定、評価制度の必要性を提示している。マネジメントの観点から住宅ストックの有り様に関して論じた野城⁶は、適切な維持管理と情報履歴の蓄積が、居住者における良質な住宅資産の構築には不可欠であり、取引市場における良い循環サイクルにも大切であると提示した。これらの動向は、情報の非対称性の解消、適正な住宅価値評価制度の構築、住宅履歴情報の整備などの課題が、住宅ストックの形成および住宅流通の円滑化にとって、重要であることを示している。

一方、住宅に関する意思決定における、居住者側の要件としては、住宅の長期的な運用に関する、予算・コスト・タイミング・選好などの多岐にわたる要因を考慮することが必

1 横関洋一：長期優良住宅普及促進法の成立と課題、立法と調査 No.289、p154-168、2009

2 不動産流通経営協会：FRK 既存住宅流通量推計結果、2013.5

3 衆議院調査局国土交通調査室：「不動産市場活性化に関する施策の動向」、p11、p28、2013

4 長野幸司、頼あゆみ、渡瀬友博、宇杉大介：「住宅に資産価値に関する研究」、国土交通政策研究第 65 号、p17-19、p155-129、2006

5 齊藤広子、中城康彦、戸田聡子：米国カリフォルニア州における住宅売買時の情報と専門家の役割、学術講演梗概集、p1381-1384、2008

6 野城智也：住宅履歴情報の整備に関する取組と今後の方向性、日本不動産学会誌 26(2)、p96-103、2012

要とされるが、一般の居住者が自身の住生活やニーズに適した可能解を的確に把握、理解した上で逐次意思決定を行うことは、非常に難しいのが実情である。居住者が自ら将来の不確実性を想定し、長期的なマネジメント計画を立てるのはそもそも困難であるが、その上、不完全な情報の下で住宅を購入・改修することは、当初予見しなかったコストが生じる可能性があり、更に居住者に担うリスクを高くしている。このことは、既存住宅流通市場の停滞を更に顕著化させる原因となっていると考えられる。従って、住宅資産の維持管理というマネジメントの視点から見た、居住者向けの意思決定手法の確立は、現時点における日本の住宅流通活性化のための急務の課題であると考えられる。

上記のような問題に対し、住宅に関わるコストを明示化しようとする試みとして、LCC（ライフサイクルコスト）を試算する研究がある。特に住宅分野では、環境への負荷、住まいの可変性、投資の効用などに焦点をあて、意思決定分析の支援手法として利用されることが多い。例えば、嘉納ら⁷は資源循環型住宅、生涯対応型住宅、従来型住宅の三タイプの住宅に関する一連のLCC研究を行い、非従来型の新しいタイプの住宅の優位性を示した。また久保田ら⁸は居住者のライフステージの変化を考慮した多世代に渡る住宅モデルを提案して、LCC評価を用いることで、その提案の有効性を提示した。修繕・改修・改築などの意思決定問題に直面する居住者にとって、中長期的な投資効用を評価できるLCC手法は非常に役に立つと考えられるが、これらの研究では、一定の成果は提示されているも、実際の住宅流通市場では分析ツールとして使われることが稀であるのが現況である。その原因として考え得る要因を、以下に述べる。

今までのLCC研究は、住宅の償却をコスト算出の基本にしているため、居住者が居住する期間における利子率や物価上昇率などの説明変数を固定値で設定しており、単一の仮定条件で想定されることが多い。そして、物理的耐用年数に基づき、同等品交換(like-for-like)⁹の概念を用い、部材・設備の修繕・交換周期を単一パターンで設定することも一般的である。しかし、現実では、割引率や物価上昇率などの説明変数が時間経過とともに変動する可能性があり、部品・設備の交換タイミングが状況次第で想定時点より前倒ししたり、先送りしたりすることも少なくない。このような不確実性が反映されていないLCC手法では、

7 嘉納成男、五十嵐健：資源循環型社会に向けた住宅生産システムの経済性評価に関する基礎的研究、日本建築学会計画系論文集、555、p279-286、2002

8 久保田孝幸、長尾覚博、齊藤広子、中城康彦：集合住宅における多世代居住手法に関する研究、学術講演梗概集、p207-208、2004

9 Ian Ellingham、William Fawcett：New Generation whole-life costing、p38、2006

予測 LCC 期待値が外れる可能性が高いため、意思決定手法として盲点があると考えられる。このことが実際の既存住宅流通市場において LCC 手法があまり応用されていない原因の一つではないかと考えられる。

上述の背景を踏まえ、住宅資産の維持管理におけるコスト・マネジメントの観点からみる、住宅の改修・改築における投資効用に関する問題に対して、選好志向が異なる居住者の意思決定をサポートすべく、本研究は、LCC にかかわる「不確実性」を考慮・評価し、住宅への投資に対する新たな意思決定手法を提案することを目的とする。

1-2 目的

本研究の目的は以下の二つである：

a) 居住行為に関わる意思決定を支援するための過程を提案すること

b) 住宅 LCC 計算にかかわる不確実性を考慮した LCC 評価モデルを提案すること

人は生涯にわたり、居住行為に関わる住宅の購入、修繕、改修などについて、複数回の意思決定を下すことがある。誰でも自分の都合に合った最善の策を求めたいが、個人の選好志向を含めて意思決定を左右する様々な要素があり、「最善」という判断基準が不明確であるため、決定を下すことは非常に難しい。居住期間における修繕・改修・建替えなどの意思決定を考慮する際には、どのような代替案を選ぶのか、投資の目的に対して代替案がどれだけの効用をもたらすのか、いくら資金が投入できるのか、いつ投資するのかなど、これらの条件の組み合わせによる選択肢は多数ある。多数の選択肢の中から一つの最適解を選び出すのは困難であるが、現時点の日本における既存住宅流通市場には、代替案を提供したサプライエンドが意思決定分析と無関係になることが多く、ユーザーの立場に立って投資効用を分析する評価ツールもすくないため、ユーザーにとって複雑な意思決定過程による負担が大きいことで、既存住宅に対する購入意向が薄くなり、流通の停滞は更に顕著化すると考えられる(図 1-2)。

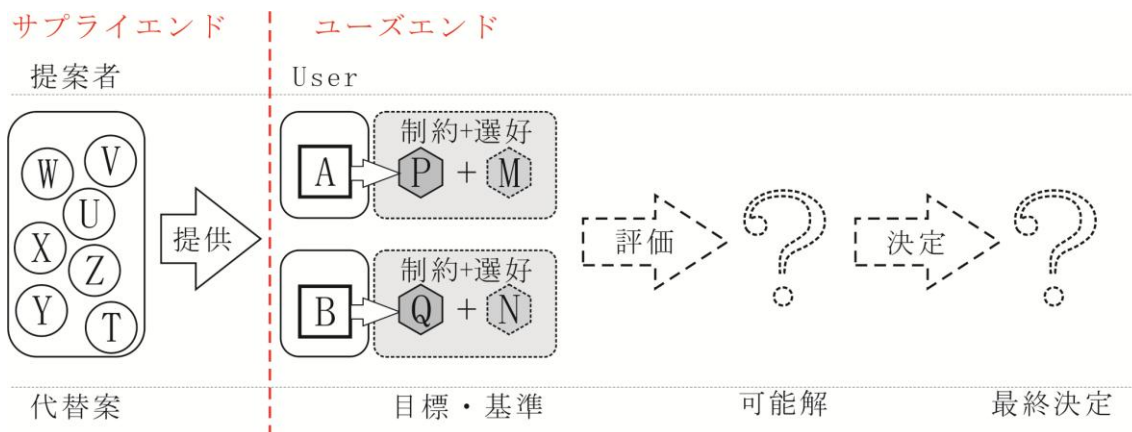


図 1-2 居住者の意思決定を支援していない既存住宅市場の現況の仕組み

従って、決定者の制約・選好志向に合わせた可能解の抽出をサポート可能とする分析手法が必要であると考えられるため、このような代替案分析手法を備えた、住まい手の意思決定を支援する、意思決定手法を提案することが本研究の一つ目の目的である(図 1-3)。代替案を評価する段階では、ユーザーのみ検討することではなく、第三者評価支援システムを導入し、評価モデルを用いることで、より客観、合理的な評価過程を通じ、ユーザーに相応しい可能解を抽出する。

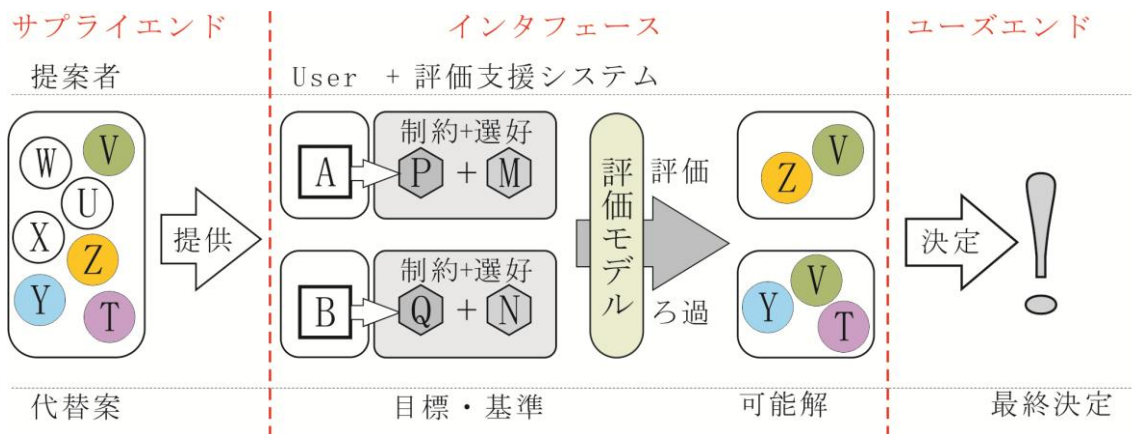


図 1-3 本研究目的 1:居住行為に関わる意思決定を支援するための過程を提案する

なお、制約・選好志向の異なる意思決定者により目標と基準が異なるため、多数の選択肢の中から可能解として選べ得る代替案も一律では無いため、この代替案抽出プロセスは図 1-4 の漏斗のような構造として表される。その中でも、本研究が提案する評価手法は、「代替案評価」の部分扱うこととする。

前述のように、一般の多くのLCC評価では、計算の便宜で、利率・物価上昇率などの説明変数が固定値であり、想定条件を単一として設定されてきた。その結果、予測はLCC期待値のみとなり、局所的な予測値となる(図1-5左)。しかしながら、居住期間にわたって説明変数が変動することを考慮すると、実際に発生するコストは当初の予測値と異なる可能性が高い(図1-5右)。このような居住期間における不確実性を考慮していない、局所的予測は、不確実性の影響により生じる余計なコストの可能性が示されていないと見なされ、それはユーザー側に負荷されるリスクであると考えられる。そして、現実ではユーザーが状況次第で決定を先送りしたりすることも少なくないにもかかわらず、代替案を実行するか否かの問題に対して、局所的予測より導かれる回答はYesとNoという二元論的な結果となり、意思決定者の志向を反映する意思決定の変動幅を提示できないため、意思決定分析手法としての盲点があると考えられる。

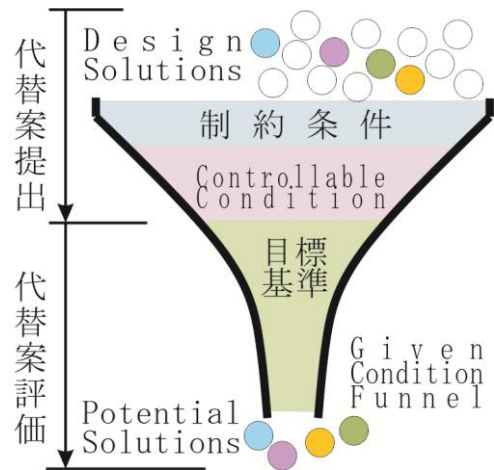


図1-4 代替案抽出の構造

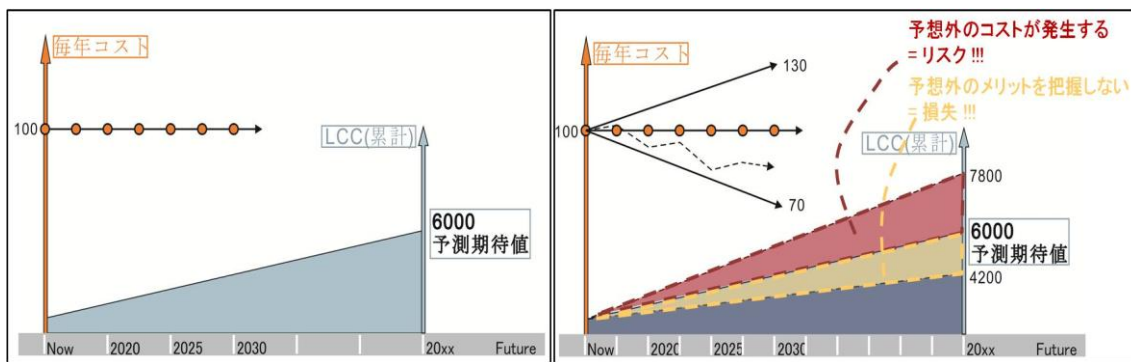


図1-5 計算の便宜で不確実性を考量していない現況のLCC評価手法

上述により、不確実性の影響とリスクを把握することが意思決定分析に重要であると考えられるため、物価の上下変動あるいは変動の激しさなど不確実性を確率方法で分析するLCC評価モデルを提案することが、本研究の二つ目の目的である(図1-6)

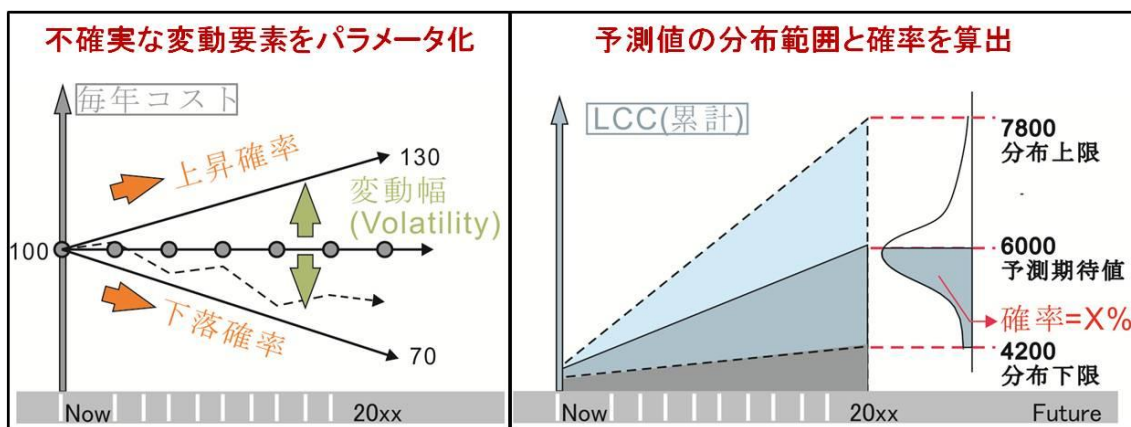


図 1-6 本研究目的 2：住宅 LCC 計算にかかわる不確実性を考慮した LCC 評価モデルを提案する

上記に示す現況に対し、住宅 LCC にかかわる不確実性を考慮した上で、居住期間にわたり住生活に所要な諸費用「LCC(ライフサイクルコスト)」、もしくは「投資対効果」を把握することができれば、その予測値は、購入や改修などの意思決定に役に立つと考えられる。このような居住期間に関する不確実性を考慮した LCC 評価手法を確立し、目的 1 にて示した代替案分析過程の一環に位置づけることが、本研究の二つ目の目的である。これら二つの提案により、住宅投資に関する不確実性下における意思決定過程と、そこで活用される不確実性をパラメーター化した、住宅の改修に関する LCC 評価手法を提示することを本論文の目的とする。下図 1-7 に、本研究の二つの目的を示す。

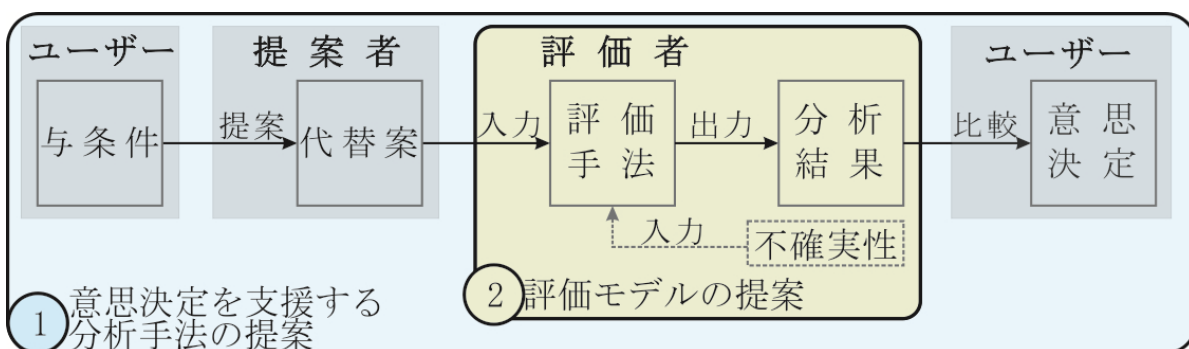


図 1-7 本研究の二つ目的

1-3 方法

本研究の方法は、以下のように大別される。それぞれ後述の 2、3、4、5、6 章の内容に対応しているが、ここでは概略を示す。

1.既存住宅流通市場における現状の考察 (2章)

本研究では、修繕・改修・建替えなどの意思決定をサポートする分析手法を提案することが目的であるため、既存住宅流通市場の活性化に対する実用性を検討する必要があると考えられる。本研究は以下の流れに従い、現状の市場の仕組みとステークホルダーとの関係性のフレームワークを考察し、分析手法の活用場面を検討した。

a)既存住宅流通市場の現状において流通の阻害要因と活性化要因を、既往研究の知見により把握

b)産官学界における流通市場整備の取り組み、およびサービスの提供に関する考察を行い、相互の関連性を解明し、現時点の仕組みとステークホルダーの関係性のフレームワークの把握

2.不確実性および既存の意思決定手法に関する考察 (3章)

意思決定手法は、想定条件の下で投資がもたらす効用や便益を計測することを通じて、投資の可否決定を分析する。しかし、現実には存在する様々な不確実性に影響され、予測が外れることがあり、それは意思決定者にとってのリスクとなる。どのような不確実性が存在するか、それによりどのような影響を受けるのか、そして、LCC 計算において不確実性を如何に捉えるか、これらは意思決定手法にとって、重要な課題であると考えられる。本研究は以下の流れに従い、住宅 LCC の計算にかかわる不確実性および既存の意思決定手法を考察した。

a)既往研究の知見により、不確実性の定義・特性を把握した上で、住宅 LCC 分析に存在する不確実性に対する考え方のまとめ

b)意思決定をサポートする様々な分析手法を考察し、不確実な状況に対するそれぞれの考え方とその応用性の比較

c)本研究の提案手法と既存手法と比較することを通じ、新たな手法としての位置づけの検討

3.本研究の手法の提案とその有用性の検証(4章、5章、6章)

本研究はコスト・マネジメントの観点からみる、住宅の改修・改築における投資効用に関する問題に対して、ユーザーの意思決定をサポートする LCC 評価モデルを提案しようとした。如何に多様な不確実性を考慮し、多数の選択肢の中からユーザーの条件・選好志向に合わせた可能解を選び出すかという意思決定プロセスが重要であり、また、LCC 評価モデルによる分析結果の有用性の検証も必要であると考えられる。それについて、以下の流れに従って検証を行った。

- a)不確実性を考慮した、住宅改修・改築における意思決定過程の構築。(4章)
- b)不確実性に影響される説明変数の変動をパラメーター化した LCC 評価モデルの構築。(4章)
- c)LCC 計算式の説明変数に関する不確実性の考察(5章)
- d)一定の条件を与えたケーススタディを通じ、提案手法の有用性に関する検証。(6章)

1-4 位置づけ

既存住宅流通への寄与を目指す

既存住宅流通の円滑化するために、物件における様々な履歴情報が所有者(売主)において整えられて保存され、取引に当たって媒介業者の価格査定や買主の意思決定の判断材料の一つとして確実に提供されることが有効である¹⁰。既存住宅における耐久性・性能・資産価値に対する適正評価システムの確立も、流通の好循環実現に不可欠である¹¹。以上から、現況の日本の住宅市場は徐々に機能しつつあるといえる。

一方、村本が提示した「住宅資産が換金性(流動性)を保有し、容易に資金フローとして活用できるのであれば、金融資産保有と同じ効果を持つ」¹²という視点により、住宅ストック形成するために、資金的な手当に支障のない金融環境を整備することが、住宅金融支援

10 流通市場研究会、流通市場研究会の検討の中間とりまとめ～既存住宅中心とする不動産流通市場の活性化に資する制度インフラ構築に向けて～、2008

11 前田拓生、日本の既存住宅市場における問題点とその活性化に資する制度・インフラについての考察、高崎経済大学論集、54(2)、p65-79、2011

12 村本孜、個人の資産活用のイノベーションーリバース・モーゲジの活用による資産の活性化、社会イノベーション研究、2(1)、成城大学

機構にとって重要な役割である。個人資産管理の観点からみると、キャッシュフローをベースにした上で、売買・改修・修繕などの計画を検討することが重要であり、そのうえ、検討したフィナンシャルプランが銀行の融資判断材料として見なされることが可能であれば、住宅資産の活用性も高められるだろう。そのため、コスト・マネジメントに着眼した、中長期的な投資効用を評価する LCC 分析は、住宅資産管理と資産活用に役に立つ意思決定手法であると考えられる。従って、本研究では、LCC 評価モデルを用いた、ユーザー(買い手、居住者、売り手)のための意思決定提案手法を、住宅資産管理・活用分析手法として、既存住宅流通の円滑化に位置づけとした。

新たな住宅 LCC 評価手法を提案することを目指す

本研究は特に住宅の改修・改築などの意思決定問題に直面するユーザーのために、新たな住宅 LCC 評価手法を提案した。手法としての学術分野の位置づけについては、3 章で詳述しているが、ここでは一般の手法との相違点、そして新しい試みについて、以下のように概略に説明する。

既往の住宅分野における LCC 研究は多様であり、対象と場合により想定条件が異なるものの、総じて住宅 LCC 分析に存在する不確実性の影響に着目して議論したものは少ない。この問題に対して、既往研究では、以下のように設定するものが多い：

- a) 将来の物価上昇・利子率などの説明変数を固定値で設定されており、不確実性の影響による変動の可能性を考慮していない
- b) 不確実性の影響による変動の可能性を考慮したが、その変動が単一パターンで想定されており、説明変数が固定値である

そして、DCF 法(Discount Cash Flow)を用い、将来に発生しうるコストを現在価値に換算した LCC 手法は、以下のような盲点があると指摘されている：¹³

- c) 意思決定時点において決定が択一的となり、将来の一連の意思決定を相互に排他的なものとして捉えざるを得ない

そのため、既存の LCC 計算では、不確実性の影響により余計なコストが発生する可能性が示されていない恐れがあり、同時に代替案を実行するか否かの問題に対して、導かれる回答は Yes と No という二元論的な結果となり、意思決定者の志向が反映できていないと考

13 Tom Copeland、Vladimir Antikarov 著、栃本克之監訳、リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定、p125-136、東洋経済新報社、2002

えられる。この盲点を解消するため、本研究は企業の投資・経営戦略においてよく用いられる ROA (リアル・オプション分析)手法を参考にし、その概念を既存の LCC 計算に組み込んだ。ROA は、不確実性を考慮し、将来の状況変化に適応・調整できる計画・提案(オプション)を練り、その提案のオプション価値を評価する手法である。研究対象や適用事例が異なる研究は多様であるが、共通の特性は以下となる：

d)将来の不確実性を想定した上で、確率過程で資産価値を推定する

e)投資を権利として把握しており、将来的に発生可能である状況により、投資を行う最適のタイミングを判断する

LCC と ROA 手法における、a)から e)までの盲点と特性を把握した上で、本研究は両者を融合した新たな LCC 評価モデルを試案した。一般手法との相違は以下の二点にまとめる：

I)住宅 LCC 計算に存在する不確実性を抽出・分析し、確率論で捉えて計算のパラメーターとした。そのことにより、局所的予測ではなく、予測値の分布範囲と分布確率をもって LCC 予測値を把握できるようになる。

II)将来における変動パターンを想定した上で、「現在」と「将来」における複数の決定時点での「オプション価値」¹⁴を分析することにより、最適な投資タイミングを判断するための LCC 評価モデルを試案した。その評価結果により、決定時点の状況に適応しながら、「決定」あるいは「保留」のどちらを選ぶべきであるかを把握できるようになる。

分析手法として、一般手法とのお主な相違点は下表 1-1 にまとめた。具体的な内容は、第 3-2、3-3、3-4 節にて詳述する。

14 オプションの価値は、「本質的価値」と「時間的価値」がある。

表1-1 LCC分析手法として一般手法との相違項目比較表(本研究の位置づけ)

研究 題名	分析手法	対象	評価基準				計算期間 (年)	不確実性の想定				予測値	
			LCC	オプション価値		部材設備 耐用年数		物価 変動	利子率	技術 向上			
				決定 時点	途中 修正								
本 研 究													
2014	LCC 二項分布確率過程	集合住宅	○	○	複数 時点	○	21	短	変動値	光熱費	変動値	固定値	分布 範囲
注釈	1. 光熱費と改修工事費のみ計算する 2. 部品劣化曲線と交換周期が複数パターンで想定する 3. 利子率は複数パターンで想定する						注釈	1. 光熱費の上下変動と振れ幅を上昇率(固定値)と変動率(Volatility)で表す 2. 技術向上率は固定値で想定する					
資源循環型社会に向けた住宅生産システムの経済性評価に関する研究シリーズ¹⁵													
概要	資源循環型住宅と生涯対応型住宅における LCC 現在価値を比較した研究												
2000	LCC 正味現在価値法(NPV)	集合住宅 戸建住宅	○	×	単一 時点	×	180	長	固定値	労務費	固定値	固定値	単一値
注釈	労務費の変動は固定値で想定する						注釈	運営費(光熱費)が計算対象外にする					
集合住宅における多世代居住手法に関する研究¹⁶													
概要	多世代にわたる住宅モデルの LCC を評価した研究												
2004	LCC 正味現在価値法(NPV)	集合住宅 戸建住宅	○	×	単一 時点	×	100	長	固定値	×	固定値	×	単一値
New Generation Whole-Life Costing¹⁷													
概要	不確実性下において建設に関する意思決定を分析した研究												
2006	Real Options (ROA) 二項分布確率過程	アパート	○	○	複数 時点	×	50	中	NA	賃料	固定値	×	分布 範囲
注釈	賃料の変動幅の想定：単一パターン												
Building Component Lifecycle Repair/Replacement Model for Institutional Facility Management¹⁸													
概要	部品・部材の交換周期の設定が LCC 評価に与える影響を分析した研究												
2007	LCC 正味現在価値法(NPV)	商業ビル	○	×	単一 時点	×	50	中	固定値	×	固定値	×	分布 範囲
注釈	劣化曲線が同じパターンで、交換周期が七つに分けられた						注釈	修繕・更新費用のみ計算する					
○計算に含む ×計算に含まず NA 記述されていない													

15 嘉納成男、五十嵐健、資源循環型社会に向けた住宅生産システムの経済性評価に関する基礎的研究、日本建築学会計画系論文集、555、p279-286、2002

16 久保田孝幸、長尾覚博、齊藤広子、中城康彦：集合住宅における多世代居住手法に関する研究、学術講演梗概集、p207-208、2004

17 Ian Ellingham、William Fawcett：New Generation whole-life costing、p79-93、2006

18 M.N.Grussing、L.R.Marrano、Building Component Lifecycle Repair/Replacement Model for Institutional Facility Management、2007

研究 題名	分析手法	対象	評価基準				計算期間 (年)	不確実性の想定				予測値	
			LCC	オプション価値		部材設備 耐用年数		物価 変動	利子率	技術 向上			
				決定 時点	途中 修正								
External Uncertainty Factors and LCC: a case study¹⁹													
概要	過去のデータから不確実性の影響を分類・分析し、その影響を新しいLCC計算モデルに統合した研究												
2009	LCC 正味現在価値法(NPV)	公団住宅	○	×	NA	NA	1994- 2007	NA	NA	NA	NA	NA	
不確 実性 分類	1. Functional change 2. Technological change 3. Regulatory change						注釈	将来のコストを予測する研究ではないため、 不確実性の想定をしない					
Evaluating Sustainable Retrofits in Existing Building Under Uncertainty²⁰													
概要	延期・中止オプション価値を計算することで Sustainable 改修がもたらす投資効果を評価した研究												
2011	資本資産価格(CAPM) 二項分布確率過程	商業ビル	×	○	複数 時点	○	20	短	NA	収益	固定値	NA	分布 範囲
シナ リオ 仮定	1. 単一投資段階における延期オプション価値 2. 複数投資段階における中止オプション価値 3. 複数投資段階における延期オプション価値						注釈	1. 収益の変動幅：三つのパターンを想定する 2. 運営コストは対象外にする 3. 投資コストと収益のみ計算する					
Sustainable construction projects: case study of flexible strategies for long-term sustainability under uncertainty²¹													
概要	燃料費変動における三つの想定状況の下で、最適な断熱改修時点を評価した研究												
2012	LCC モンテカルロ法(MC)	特定 しない	○	○	複数 時点	○	40	中	×	燃料費	固定値	×	分布 範囲
シナ リオ 仮定	1. 投資しない 2. 現時点で高性能断熱材を投資する 3. 現時点でアップグレード可能な断熱材を投資する						注釈	1. 燃料費の変動幅：三つのパターンを想定する					
○計算に含む ×計算に含まず NA 記述されていない													

19 Mohamed Arja, Gerard Sauce and Bernard Souyri, External uncertainty factors and LCC : a case study, Building Research & Information, 37(3), p325-334, 2009

20 Carol C. Menassa, Evaluating sustainable retrofits in existing buildings under uncertainty, Energy and Buildings, 43, p3576-3583, 2011

21 William Fawcett, Martin Hughes, Hannes Krieg, Stefan Albrecht, Sustainable construction projects: case study of flexible strategies for long-term sustainability under uncertainty, Building Research & Information research paper, 2012

1-5 研究範囲と対象

1-5-1 研究の適用範囲

本研究は意思決定手法に関する研究を行うが、手法の議論に移る前に、提案する手法の適用範囲とケーススタディの対象を明確にするため、以下のように定義する：

a) 評価手法(How)：如何に評価するか？

意思決定手法は多種多様であるが、本研究はコスト・マネジメントの観点から住宅における投資行為を議論するため、LCC 手法を評価手法とした。住宅分野では、部材設備の交換周期・割引率・想定条件などの説明変数における感度分析を行った LCC 研究が多いが、本研究では、先行研究の知見を基に、更に不確実性を説明変数として、確率論でその影響を論じる。

b) 評価尺度(What)：何を評価するか？

本研究の提案手法では、「金銭」を尺度として、投資効果がコストで表現できる代替案を検討対象とする。ただし、価格査定・賃料収益などの投資効果が市場価格の範囲に入るため、本研究では論じない(2章に詳述)。ここでは、特にライフサイクルコストに焦点をあてるが、ライフサイクルコストは「金銭」という客観の尺度で評価するため、代替案同士における費用対効果を評価することが可能となる(例えば省エネ改修のコスト対光熱費の節約効果)。一方、個人の主観的な選好志向はもちろん判断基準として設けることができ、この基準を用いて多数の代替案から決定解を選び出すことも可能であるが(3章に詳述)、評価尺度が異なるため代替案同士における費用対効果を評価しにくいと考えられる(例えば違う色のペンキのコスト対居住の満足度)。

c) 使用者(Who)：誰かこの手法を用いるか？

LCC 分析を用いて投資可否の判断を行う場面と使用者は多様であるが、本研究では、居住にかかわる住宅の購入、修繕、改修などの投資における意思決定に直面する人を支援する者が、提案手法の使用者とした。住まい手を支援する第三者評価者は該当するが、代替案の提案者、またデベロッパーも潜在的使用者である。なお、支援サービスとしての本研究提案手法にとって、評価業務の依頼方法、費用の積算、評価の公正性・客観性の確保などの課題が、まだ沢山残ってる。どのような制度を設ければ実務上の活用性が高められるのかについては、今後の課題とする。

d) 使用時点(When) : いつかこの手法を用いるか？

本研究の提案手法は、住宅の購入、修繕、改修などの決定を行う前、その決定がもたらす投資効用を分析するときに使われる。本手法では、意思決定プロセスで、住宅への投資を保留した際には、次回の意思決定プロセスに以前の情報が利用（フィード）されることを可能にしている。また、一般の住宅 LCC 分析では、計算期間は決定時点から住宅の物理寿命が終るまでの期間で設定されるが、本研究での計算期間は使用者の都合により決められる。例えば、子供の成長に向けた改修における投資効用を分析したい場合、ライフステージの転換時期(子供が 18 歳になる時)までの間を、計算期間とする。(3 章に詳述する)。

1-5-2 用語定義

本研究に頻出する用語は、使用場面により定義が若干異なるため、語彙の曖昧性を解消するように、本研究の想定前提下の使い方をここで定義しておく。

LCC(ライフサイクルコスト) :

LCC(Life Cycle Cost)の定義は、ライフスパンまたは特定の期間にわたり、構造物やシステムなどの所要費用の合計である。その所要コストは購入価格、インストール費用、運営費用、維持・更新費用、処分費用と残存価値を含んで²²。本質上に LCC と同じ意味を持つ言葉は、「total life cycle cost」、「whole life cycle cost」、「workinglife cost」、「lifetime cost」などがある。なお、検討の目的により life(期間)に関する定義が異なり、一定ではない²³。本研究では、省エネ改修代替案のコスト削減効果を着目しているため、特定の計算期間の間に発生する改修費用・光熱費・修繕更新費のみを、LCC として定義した(3-3-2 に詳述)。

省エネ改修 :

「住宅・建築物省エネ改修等推進事業 --募集要領」により、補助対象となる省エネ改修の内容はお主に「断熱改修」--開口部・床・外壁・屋根(天井)と、「設備改修」--暖房・給湯・

22 <http://www.businessdictionary.com/definition/life-cycle-cost.html#ixzz37nUdTgNy>

23 Asko Sarja、Generic Description of lifetime Engineering of Buildings,Civil and Industrial Infrastructures、2005

換気・その他、二つの部分で構成される。なお、これら以外の建設工事は省エネ改修と見なされていない²⁴。例えば、冷暖房器具・節水器具・照明器具の交換などは補助対象外である。

本研究は、運営コストの削減に着目しているため、エネルギー使用量が節約できる、「工事項目」と「建設工事を伴わない設備・器具交換」を、両方ともに省エネ改修として定義した。

省エネ率：

省エネ改修を行う前後、エネルギー使用量の割合である。省エネ率が低いほど省エネ効果が高い。

$$\text{省エネ率} = \frac{\text{改修後エネルギー使用量}}{\text{改修前エネルギー使用量}}$$

同等品交換：

入札契約によく見られる同等品交換とは、指定品と規格(形状、材質、色等)・品質・性能が指定品と同等以上であって、メーカーの既製品を基本とするものであり、価格が概ね指定品と同様以上であるものとする²⁵。同じ定義を定めた本研究では、改修・交換のため、将来に購入する同等品の性能が現時点と同様であるが、コストが安くなるように想定した。

説明変数とパラメーター：

数学、特に解析学において変数 (variable) とは、未知あるいは不定の数・対象・可変的な数量を表すために使われる x または y のような文字記号のことである。代数学の文脈では不定元 (indeterminate) ともいう。方程式において、特別な値をとることがあらかじめ期待されている場合、未知数とも呼ばれる。数列などの添字は媒介変数 (parameter) とよ

24 独立行政法人建築研究所、「平成 25 年度、住宅・建築物省エネ改修等推進事業(住宅用)--募集要領」、2013

25 福岡県古賀市、「入札・見積り合わせにおける同等品の取扱いについて」により、<http://www.city.koga.fukuoka.jp/cityhall/work/zaisei/026.php>。岩手県滝沢市、「同等品確認申請」により、<http://www.city.takizawa.iwate.jp/dotohinkakunin>。

ばれる変数の仲間であり、助変数と呼ばれることもある。一般的な性質ではないが、関数においてその関数の具体的な形式を決定づける恒常的もしくは可変的な項目のことをいう²⁶。LCC 計算では、代替案における想定条件と与条件を表す説明変数の値を、LCC 関数に代入すると、代替案の LCC 予測値が求められる。性質が異なるため、本研究では、説明変数を以下のように定義する(第 5-1 節を参照)：

説明変数 — { a.与条件変数(Variable)-->不定の数・不定元
b.想定パラメーター(Parameter)--> パラメーター・助変数

a.与条件：ユーザーまたは代替案の条件により変わる値である。例えば：年平均光熱費、代替案の工事費・省エネ率などが該当する。

b.想定パラメーター：未来の不確実性を表すもので、特定の仮定状況下は常数である。なお、他の仮定状況(シナリオ)を表す時に改めて設定する必要がある。例えば：光熱水道費上昇率、省エネ効率向上率、工事費変動率などが該当する。

リスク：

国際標準化機構(ISO)が定義したリスク(risk)とは、「諸目的に対する不確かさの影響(effect of uncertainty on objectives)」である。その中の「影響」とは、期待されていることから好ましい方向および好ましくない方向に乖離することをいう；「不確かさ」とは、事象その結果又は起こりやすさに関する情報、理解もしくは知識がたとえ部分的にでも欠落している状態をいう。なお、リスクは、ある事象の結果とその発生の起こりやすさとの組み合わせとして表現されることが多い²⁷。経済学においては一般的に、リスクは「ある事象の変動に関する不確実性」を指し、リスク判断に結果は組み込まれない。投資において、将来の収益が確実といえないため、利得がある不確実性をアップサイドリスク、損失する不確実性をダウンサイドリスクと呼ぶ²⁸。

26 [http://ja.wikipedia.org/wiki/変数_\(数学\)](http://ja.wikipedia.org/wiki/変数_(数学))

27 ISO Guide73：2009 より

28 <http://ja.wikipedia.org/wiki/リスク>

一般の LCC 分析手法では、計算の便宜で「将来の経済環境の変動などに関する不確実性」を外部要素として扱い、局所的な予測値にしか頼らないため、投資により予想外のコスト、または予想外の利得が発生する可能性(確率)が把握できない。本研究では、その予想外のコストと利得が発生する可能性(確率)をリスクとして定義した。

リスク中立的、リスク回避的、リスク志向的：

現代ポートフォリオ理論では、投資家に三つのタイプが存在する²⁹：

- 1). リスク回避的投資家：期待リターンが同じならばよりリスク(リターンのブレ)が小さい投資を良しとする
- 2). リスク中立的投資家：投資を期待リターンの水準だけで判断する(リスクを無視する)
- 3). リスク愛好的投資家：期待リターンが同じならばよりリスクが大きい投資をよしとする。

そして、期待効用関数のグラフによる、リスクがもたらす効用が三つある³⁰：

- 1). リスク回避的効用：確実にもらう効用のほうが期待効用より望ましい場合。
- 2). リスク中立的効用：確実にもらう効用が、期待効用と同じである。
- 3). リスク愛好的効用：期待効用が、確実にもらう効用より大きい場合。

本研究では、リスクの可能性(確率)を無視し、代替案の LCC 期待値(局所的予測値)のみで判断する人を、「リスク中立的」な決定者として定義した。そして、上述の同じ定義で「リスク回避的」、「リスク志向的(愛好的)」な決定者の性格を定めた。なお、リスクに対する許容範囲が決定者により異なるため、本研究のケーススタディでは三つのタイプを仮定した(第 6-2-5 節を参照)。

期待値

確率論において、期待値とは確率変数の実現値を、確率の重みで平均した値である。類義語に平均がある³¹。期待値基準とは、各代替案の期待値(期待効用)を比較し、この値が最

29 シグマインベストメントスクール、金融エンジニアリングキーワード解説、<http://www.sigmapbase.co.jp/keyword/index.htm>

30 花蘭誠、ミクロ経済学講義資料(第 11 回)、名古屋大学、2008
<http://ocw.nagoya-u.jp/files/133/microeconII-11.pdf>

31 <http://ja.wikipedia.org/wiki/期待値>

大になる案を最良案として採択するという考え方である³²。本研究は、不確実性を想定した上で、すべての可能性下における代替案の LCC 予測値の加重平均値を、期待値として定義した。なお、その可能性は二項分布確率過程で推定されたものである(表 6-1-6 を参照)。

最尤値

統計学において、尤度の概念を利用し、与えられたデータからそれが従う確率分布の母数について推測するために用いられる方法は、最尤法である。母数の一番もっともらしい値は、最尤値(最尤推定量)である³³。最尤値基準とは、将来の状態の出現確率が最大な状態だけに着目し、代替案の採択可否を判断する考え方である²¹。一般の見解による最尤値は、出現確率が最大の値のみを指すが、本研究では、期待値 ± 1 シグマ(σ) 範囲内(出現確率は合計約 68%範囲内)の予測値群の加重平均値を、最尤値として定義した(表 6-1-6 を参照)。

1-5-3 ケーススタディ対象の設定

本研究提案手法の活用場面と有用性に関する説明は、第 6 章にて詳述する。そのケーススタディの対象としては、上記に示した意思決定手法の新規性を試すため、以下の条件を想定することとした：

a) 意思決定：一般改修に省エネ改修工事を加えるべきか否かであること

ライフステージなどの変化に応じて住宅の改修を行う際に、様々な工事項目から仕様を選定しなければならない場合に、省エネ効果につながる改修項目・設備を選ぶべきか否かを判断するための分析が必要であると考えられ、本研究の例題として分析対象とした。

b) 使用者：幼児がいる 30 代夫婦

2012年首都圏マンション契約者動向調査³⁴により、マンションを購入した居住者の中で、30代世帯が 54.2%を占めており、シニアカップル世帯を除く子供あり世帯は 31.9%を占めている。購入理由で最も多いのは「子供や家族のため」(40.2%)。ライフステージでの変化が大きい時こそ意思決定の影響が大きいいため、本意思決定手法が役に立つと考えられ、本

32 飯田耕司：意思決定分析の理論、2005

33 <http://ja.wikipedia.org/wiki/最尤法>

34 株式会社リクルート住まいカンパニー、2012年首都圏新築マンション契約者動向調査、2013

研究のケーススタディでは幼児がいる 30 代夫婦を対象とした。

c) コスト：本ケーススタディはライフステージの変換期の間(15～21 年)に、一回省エネ改修を行うものとし、ユーザーの生活に必要な光熱水道費(LCC のランニングコストの一部)を計算対象とした。点検、修繕は日常生活に直接関係がないため、今回対象外とした。ローン・保険・税金なども、改修・改築に影響を受けて変わるものではないと考えられるので対象外とした。

d) 住宅形態：築後年数約 10 年、鉄筋コンクリート造の既存マンション

分譲マンションのレイアウトや構法などは戸建て住宅とは異なり、比較的均質である。そして、管理組規約に従い、専有部分しか改修できず、実施できる工事項目も局限されている。この特徴から、改修工事がもたらす効果の比較分析の検証に適していると考えられるため、本研究では築後 10 年の鉄筋コンクリート造の既存マンションをケーススタディの対象に選定した。

e) 不確実性：将来の不確実性もしくはリスクは多様である。災害、健康の問題などを全て考慮すると、計算と分析が収斂できないと考えられるため、本ケーススタディでは将来の工事費と住居(光熱)費に直接影響を与える物価変動・利子率変動・交換周期設定、この三つの不確実要素のみを対象とした。

第二章 住宅流通市場に関する既往研究の整理

2-1 日本における住宅流通市場の現状

2-1-1 居住者意識に影響される既存住宅流通シェアの現況

一章にも、日本におけるスクラップ&ビルドからストックへの転換を目指す、国の施策の有り様に言及したが、長寿命で持続可能な住まいは、住宅の建替えの頻度を減らすことで建設工事に係る資源とエネルギーの消費を大幅に削減できると考えられる。また、野城³⁵は経年減価の非合理性を論じ、日本における住宅の使い捨てという傾向が、国にも個人にも資産価値の損失をもたらすと指摘しており、既存住宅の適切な評価が重要だと呼びかけている。

しかしながら、平成 15 年(2003)の国土交通省の統計調査³⁶では、日本の既存住宅流通シェアは、住宅流通市場の中で 13.5%弱であり、近年、既存住宅の流通市場は拡大傾向にあるものの、平成 24 年(2012)までの統計調査³⁷では、ここ 5 年の平均流通シェアはおおよそ 36%であり、国際諸国の現状に比べるとその比率は低いと言える。

日本において、居住に関する研究は決して少なくないが、三根ら³⁸が住み替え意識に関する調査を行った研究結果からは、そもそも居住者の既存住宅への住み替えの意向があまり高くないことが分かる。さらに、既存住宅の購入行為および購入意向を探究すると、山崎ら³⁹の研究により、中古住宅は土地に先行的に投資できる点で着目されており、購入後の建て替え指向が強い米国より、日本の市場はリピーターが少ないことが分かる。マンションの購入検討者に対する調査からは⁴⁰、新築と中古マンションの並行検討者は全体検討者の 4割超え程しか占めていないことが分かる。

上述の調査と研究により、日本における既存住宅流通市場の規模が大きい理由として、居住者の既存住宅への住み替え意識が薄いこと、土地価値に投資する点で着目して既

35 野城智也：住宅履歴情報の整備に関する取組と今後の方向性、日本不動産学会誌 26(2)、p96-103、2012

36 国土交通省：既存住宅流通・リフォーム市場の現状、2010

37 不動産流通経営協会：FRK 既存住宅流通量推計結果、2013.5

38 堤洋樹、三根直人：集合住宅の住み替え意識に関する調査研究、日本建築学会九州支部研究報告(45)、p45-48、2006

39 山崎古都子、金貞仁、上村要司、李容圭：既存住宅の耐用性に関する日韓比較研究、学術講演梗概集、p1531-1532、2008

40 株式会社リクルート住まいカンパニー、2012年首都圏新築マンション契約者動向調査、2013

存住宅を購入する意向が高いこと、この二つが考えられる。

2-1-2 既存住宅市場における流通阻害の要因

前述により、既存住宅の流通が円滑ではない現状は、居住者の居留意識に大きく影響を受けていることが把握される。このことから、既存住宅流通の円滑化を図る前に、居住者の選好と市場の仕組みに存在する阻害要因を把握すべきである。

市場で住宅の評価のためによく利用される手法に、不動産価値(市場価格)の面から、住宅の価格特性、居住者の選好を推定する、取引事例比較法がある。比較する際によくある分析要素は立地、土地面積、建物面積、築後年数、構造、階数、方向などである。居住者にとって重要な項目は、この手法で大まかに分かるようになったが、物件の経済価値の測定には分析者の経験則に頼る側面もあり、必ずしも正確ではない恐れがある。そのため、清水の研究⁴¹のようにヘドニック・モデルを用い(Hedonic Analysis Method)、大量の物件の成約データから住宅価格関数を推計する研究がある。ただし、これは経済的効用の面からみる居住選好のみを分析したものであり、居住者の居住に対する満足度などの効用を考慮できていない。

住宅物件自体の居住性能は、居住者の満足度や効用に大きな影響を与えるが、この点に関する研究も多く存在している。大阪圏・東京圏の在住者を対象に、高田ら⁴²が行った定住・住み替え志向に関する調査結果では、「住宅の設備や性能」に不満を抱えており、この理由で住み替えたいと回答した居住者は 33.3%を占めている(一位は「住宅の広さ」で 65.4%)ことが分かる。同様に、中古住宅の居住者を対象にした上村ら⁴³の調査結果からは、建物評価に対する重要度のうち、「構造の安定-3.95点」と「劣化の軽減-3.72点」(満点は5点)が最も重視された項目であることが分かる。一方、荻島ら⁴⁴は限界支払意思額 MWTP(Marginal Willing to Pay)と市場価額の比較を尺度として、集合住宅を購入する人々における、環境配慮仕様に対する選好の順位を算出した。その結果により、日本では光熱費削減(省エネルギー仕様)の MWTP が市場価格とほぼ同等で、有害化学物質発生量の削減(健康仕様)の MWTP が市場価額より大きく上回っていることが分かった。

41 清水千弘：近隣外部性を考慮したヘドニック住宅関数の推定、麗澤経済研究、16(1)、p29-44、2008

42 高田光雄、巽和夫、竹原祐介：共働き世帯の都市居住ニーズに関する研究、その1 職住関係と住宅・住環境の選好、研究報告集、p889-892

43 村上心、橋本雅好、川野紀江：中古住宅ストックの標準基準に関する研究、2008

44 パクミンソン、荻島理、全貞ユン、依田浩敏、谷本潤、和田宗憲：集合住宅の環境性能に対する消費者選好の韓国と日本の比較研究、学術講演梗概集、p1185-1186、2008

上述の研究により、既存住宅における購買や住み替えという意思決定は、住宅物件の所在地だけではなく、物件の居住性能、耐久性、安全性などの要因に大きく左右されていることが把握される。これらの要因に関する情報提供は、住宅への投資にとっても極めて重要な決め手であると考えられる。

なお、現在の日本の流通市場には、「情報の非対称性」という問題がある。この問題は、江口ら⁴⁵の研究では「市場上の住宅に関する情報は概ねサプライヤー側のみが把握しており、消費者が実態を把握することは難しい。...消費者はもちろん、政府さえ既存建築ストックの実態を明らかに把握していない」と述べられている。情報の非対称性が住宅の流通にどのような影響を及ぼすのかについて、山崎ら⁴⁶は以下のように述べている：「日本では市場における情報の非対称性が中古住宅の安全性、設備性能の信頼性を低めている。そのことは住宅の安全性確保に払う関心・行動と既存住宅の不安感との間の相関性及び、『仮の宿』意識と中古住宅の不安感との間に相関として表れていた。...日本の持家所有者は再度中古住宅市場に参入するよりも、建替えながら同一土地に住み続けることに価値を置くことが明らかになった。」

日本では既存住宅に関する情報は概ねサプライヤー側のみが把握しており、取引体制の不完備のため、情報の非対称性の問題が起きているという点に関して、齊藤ら⁴⁷は日本の住宅市場における適正な取引体制のありようを提示した。ここでは、その体制整備のため、特に売買時に提供される情報の内容、情報を提供する専門家の役割に注目していた。

これらの既往研究から、市場の実態調査では、居住者の住宅物件への選好や居留意識の把握が重要であるとされているが、既存住宅の流通が滞っている主な理由として、これらの情報の非対称性があると考えられる。たとえ物件が、売り手・買い手のニーズに合致したとしても、情報が不完全であるため売買側双方が繋がらなくなり、取引がうまくいかず、流通が滞ったままとなっている。加えて、居住者にとって、住宅物件についての情報の欠如や公正・客観的な第三者による評価制度の不整備によって生まれる不安・心配は、流通を阻害する主因であると考えられる。

45 江口亨、松村秀一、見立龍之輔：既存建築ストックの有効活用に対する行政支援の実態調査-地方都市におけるコンバージョンの展開可能性に関する研究、学術講演梗概集、p793-794、2007

46 山崎古都子、足立智也子：町並みの評価に潜在する既存住宅のストック化の可能性、滋賀大学環境総合研究センター研究年報 Vol.4、No.1、p37-54、2007

47 齊藤広子、中城康彦、戸田聡子：米国カリフォルニア州における住宅売買時の情報と専門家の役割、学術講演梗概集、p1381-1384、2008

2-2 日本における住宅価値評価と取引制度

循環型社会構築を目指す日本にとって、既存住宅の流通を円滑化するのは急務である。本研究はそのような課題に対し、住宅の価値評価方法の現状と取引市場の仕組みについて把握した上で、住宅への投資行為にかかわる住まい手・買い手を支援する評価方法や制度が不完備である点を検討しなければならないと考える。

2-2-1. 現行の住宅価格・価値評価方法

住宅は不動産(表 2-1)であるが、商品の一つとも言える。住宅は、資産として扱われるが、一品生産した住宅商品は一般の商品とは異なり独自の特徴があるため、市場での取引方法も特別である。日本における不動産・住宅市場の多面的特徴を⁴⁸以下に示す：

1. 多数の企業(売り手)有り → 完全競争市場のようにみえる
2. ある程度価格支配力有り(設定できる) → 独占市場に近い
3. 製品の差別化 → 価格は不均衡(price discrimination)
4. 完全情報を欠く(imperfect information) → 流通の効率は良くない

表 2-1 各国における不動産の定義(出典：張金鶚、1993⁴⁹)

国、地域	表記	定義および概念
日本	不動産	土地及びその定着物は、不動産とする(民法 86 条)
アメリカ	Real Estate	Land and improvements in a physical sense as well as the right to own or use them
イギリス	Immovable, Property	
台湾	不動産、房地產	房(house)：建物用途別 地(land)：土地別 産(property)：物権

完全競争市場ではない住宅市場においては、価格の設定と定義に独自性がある。米国不動産鑑定士協会⁵⁰では、市場価格は以下のように定義されている：

- 1.) 売買双方とも不動産に関する知識や情報を持っている上、公開かつ公平な市場において、獲得できる最大価格(しかし、日本の住宅市場には「情報の非対称性」が存在する)
- 2.) 取引行為が正常な状況で売買が成立する価格。すなわち、売買双方とも外部からストレスのない状況(急用のため売る又は買う状況がある現況)
- 3.) 物件を探すには十分な時間かつ完全情報が有る状況で取引成立の価格

48 許文昌：不動産估値理論、2005

49 張金鶚、房地產投資与市場分析・理論与実務、1993

50 米国不動産鑑定士協会 AIREA(American Institute of Real Estate Appraisers)

一方、金本⁵¹は、日本の住宅の財の特徴として、以下の七つを挙げている：必需性、耐久性、重要性、多様性と住宅市場の薄さ、生産における規模の経済性、情報の非対称性、取引費用の重要性。上述から、不動産市場または住宅商品における市場の特性が複雑であり、住宅の価値を評価する際には、多角的視野から考慮すべきであるため、一般の消費財として扱えず、その特性に対する分析は簡単に記述できないことが分かった。

表 2-2 不動産鑑定的手法(資料整理出典：国土交通省、2009 & 許文昌、2005)

<p>1：取引事例比較法</p>	<p>1</p> <p>事情補正 時点修正 地域要因 個別要因</p> <p>取引事例x ----- x ----- x ----- x ----- = 対象物価額 100 100 100 100</p>
<p>多数の取引事例を収集して適切な事例の選択を行い、これらに係わる取引価格を必要に応じて事情補正及び時点修正を行い、かつ、地域要因の比較及び個別的要因の比較を行って求められた価格を比較考慮し、これによって対象不動産の資産価格を求める手法。</p>	<p>2</p> <p>原価</p> <p>減価基金法</p> <p>定額法</p> <p>定率法</p> <p>残存価額</p> <p>耐用年数</p> <p>0</p>
<p>2：原価法</p>	<p>3</p>
<p>価格時点における対象不動産の再調達原価を求め、この再調達原価について原価修正を行って対象不動産の試算価格を求める手法。</p>	$P = \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{(1+Y)^k} + \frac{P_R}{(1+Y)^n}$ <p>P：求める不動産の収益価格 n：保有期間 a_k：毎期の純収益 P_R：復帰価格 Y：割引率</p>
<p>3：収益還元法</p> <p>対象不動産が将来生み出すであろうと期待される純収益の現在価値の総和を求めることで対象不動産の資産価格を求める手法。</p>	

日本の市場では、不動産鑑定基準⁵²(表 2-2)に従って不動産価格を査定するのが一般的である。価格を求める基本的な手法は、取引事例比較法、原価法および収益還元法に大別され、そのほか三手法の考え方を活用した手法もある。現在、住宅価格の査定に最も使われるの

51 金本良嗣：都市経済学、東洋経済新報社、p97-99、1997

52 国土交通省：不動産鑑定基準、p20-28、2009

は取引事例比較法である。これは近隣地域もしくは同一需給圏内における対象物件の取引価格判定を基礎とする手法である。そのため多数の事例を収集する一方、表 2-3⁵³のように様々な目的に応じて作成された価格情報を参考にすることも必要である。日本における住宅価格は、土地代と建物価値の二つの要素で構成されているため、現行の査定手法により、土地代は「公示地価」、「路線価」、「固定資産税評価額」などの情報源を基に推定されることが多い。一方、住宅本体の建物価値は減価償却および耐用年数の概念を用いて残存価値をもって計算されるため、経年と共に建物価値がなくなって、築後 15 年時において物件の価値がほぼゼロになることが日本では一般的である。

表 2-3 不動産の価格についてのおもな情報源(出典：国土交通調査室、2013)

分別	区分例	名称	作成機関
土地	公的評価	地価公示(公示地価)	国土交通省
		都道府県地価調査(基準地価)	都道府県
		相続税評価(路線価)	国税庁
		固定資産税評価	市町村
	一般評価	地価 LOOK レポート	国土交通省
		市街地価格指数	日本不動産研究所
個別取引価格	不動産取引価格情報	国土交通省	
住宅	一般評価	不動産価格指数(住宅)	国土交通省
		リクルート住宅価格指数	リクルート
		東証住宅価格指数	東京証券取引所
	個別取引価格	不動産取引価格情報	国土交通省
		レイズマーケットインフォメーション	全国指定流通機構連絡協議会

住宅価格の査定で取引事例比較法がよく利用されるが、その手法で求めた価格は必ずしも適切なものとは限らない。小野ら⁵⁴が指摘したように、「住宅市場には各物件の立地特性そのものに由来する『同質の財が存在しない』という特殊性があり、市場関係者が実践的に品質と価格を対応させる評価方法を敷衍して、住宅財の価格関数として各種価格形成要因を変数とする多変数関数を考えることができる」。住宅の価格形成は多変数関数なので、

53 衆議院調査局国土交通調査室、不動産市場活性化に関する施策の動向、p18、2013

54 小野広哉、高辻秀興、清水千弘：品質を考慮した中古マンション価格モデルの推定、麗澤経済研究、10(2)、p81-102、2002

任意の要因が変わった場合、査定価格も変わるはずであるが、今までの取引事例比較法では、面積・構造・築後年数など僅かな要因のみで比較が行われており、市場動向の変動などが反映されず、消費者が求める情報に対しての対応が不十分であると考えられる。特に既存住宅の価値評価において、居住性能の良さが認められても、これが必ずしも適切に価格に反映されるわけではないのが現実である。

現時点では、上記に示した不動産鑑定方式に頼らずに、住宅価値と価格を求める手法もある。例えば、ヘドニック・モデル(Hedonic Analysis Method)は、大量の物件成約データから、住宅価格関数を推計する手法である。そのほか、優良ストック住宅推進協議会は、より詳細な変数と補正率を査定の計算式に組み込んで、既存住宅の品質、性能も市場価格に反映できるような、既存住宅向けの査定方式を検討している⁵⁵。

流通市場においては既存住宅の「適切な評価」がないとよく指摘されるが、「適切な評価」という言葉は、適正な価格設定とは別の概念であると考えられる。値付けされた価格に納得するか否かは、人の主観的価値観と需要により異なるため、適切という定義には曖昧性がある。これについては、小野らが以下のように指摘している：「『価格』として市場価格を想定する場合に、この市場価格が財・サービスの供給者と需要者がそれぞれ最適化行動をとりその結果として実現したものか、実際の値付けを吟味して確認しておく必要がある」。

上記に示した日本の住宅市場の現況をまとめると、住宅価格の形成は多様な要因が関与するはずではあるが、現状では減価償却および耐用年数の概念を用いて残存価値を計算することがほとんどであることが把握された。そして、性能に対する価値評価は必ずしも市場価格に反映されるわけではないため、性能などの要因を単独に抽出して価格との関係を議論するのが難しいと考えられる。この認識に基づき、本研究のLCC評価手法では、住宅価格・市場価格、またその価格の設定に関わることには言及せず、LCC分析結果を用いて住宅への投資行為に関する適切性を検討することに焦点をあてることとした。

なお、中長期的な投資の観点から見てみると、最適な投資タイミングや投資行為を把握するため、キャッシュフロー分析と対策の検討が重要である。そのため、運営・維持管理に不可欠なLCCと、住宅資産における市場価格や残存価値の推移・予測と一緒に考慮することで、住宅投資に関する様々な意思決定分析が可能となり、評価手法の応用範囲も広がると考えられる。それは今後の研究課題とする。

55 優良ストック住宅推進協議会：三つ星流通住宅、p124-134、2010

2-2-2 日本住宅市場における取引制度

日本住宅市場において消費者の新築志向が根強い原因として、現状の取引制度下で、既存住宅の価格と価値が適正に評価されていないことが挙げられる⁵⁶。検査、評価制度が整備されておらず、玉石混淆である取引市場では、良質な既存住宅でも普通の既存住宅とみなされ、過小評価されてしまう可能性が高い。市場制度の問題点について、齊藤⁵⁷は表 2-4 のように問題点をまとめており、主に「1.対象物件の情報が少なく、重要事項説明でも建物の現状を示す項目が少ないことが挙げられる、2.必要な情報を適切に収集し、判断を下すために相談できる支援体制が乏しい。」であることを指摘し、消費者の意思決定に有用な情報を提示させるための既存住宅検査制度を提案した。

表 2-4 中古住宅購入からみた問題点(出典：齊藤広子、2001)

問題事例	中古住宅流通の問題<情報開示を中心に>
問題1:実物をしっかりと確認できない	<p><情報の開示時期・方法・情報の量と質の問題></p> <p>①住宅購入に係わる重要な情報を購入予定者が収集・把握できない</p> <p>②住宅の性能情報(現在の状態)が開示されてない・情報がない</p> <p>③住宅の生まれや育ち(新築時及び修繕・リフォーム等の履歴)の情報がない(竣工図面も含め)</p> <p><情報の質と判断支援体制の問題></p> <p>④客観的に情報を収集する専門機関・人がいない</p> <p>⑤第三者による価格査定・評価が行われない</p> <p>⑥建物の修繕・リフォームの状態と価格が連動していない</p> <p><その他> 本稿で主に考える範囲 リフォーム工事体制・税金制度・融資制度 その他</p>
問題2:住宅購入前検査ができない	
問題3:検査結果(建物の傷み具合)と価格が連動しない	
問題4:リフォーム工事見積もりが分かりにくい	
問題5:リフォーム工事の瑕疵保証・メンテナンス・支援体制がない	
問題6:メンテナンス履歴や計画が契約前・契約時にも分からない	
問題7:建物の竣工図面(生まれた状態を示すもの)がない	
問題8:中古住宅購入は住宅ローンが不利である	
問題9:中古住宅購入は税金面で不利である。	
問題10:化粧直しのリフォームがされ、実態を確認しにくい	

日本の住宅取引制度には、売り手側に情報提供の義務がなく、物件の現状を評価して買い手側にアドバイスする専門家や第三者検査制度が不完備である。すなわち、消費者をサポートする制度が構築されていない。このことは、既存住宅流通シェアが欧米諸国と比べて、極めて低い水準になっている一因と言われている。齊藤らは、日本の取引制度の特徴について、図 2-1 のように「日本では、プレイヤー(登場人物)が少ない、とくに、買い手側にたつ人がすくない」と指摘した。⁵⁸

日本と比べて、英国における滅失住宅の築後年数は日本よりかなり長い。構造種別、材料強度、気候など物理上の損耗要素を別にして、この結果に至る主な原因は、日本と英国

56 長野幸司、頼あゆみ、渡瀬友博、宇杉大介：住宅の資産価値に関する研究、国土交通政策研究(65)、p15、2006

57 齊藤広子：民間企業の中古住宅市場活性化への取り組み--適正化情報開示による中古住宅の取引のために、住宅 50(8)、p39-47、2001

58 齊藤広子、中城康彦：住まい・建築のための不動産学入門、p17-19、2009

の居住者の間の既存住宅に対する売買観念や居住習慣の大きな差異であると考えられる。野城ら⁵⁹の研究では、10年に満たない間に住宅を買い替えることは英国人にとって一般的なことであり、また不動産取引におけるエネルギー性能の表示は、法令上の義務になっていることが把握されている。このような視点から、住まい手を情報面からサポートする仕組みとして、住み変えるまでの期間における情報収集時間を無駄にしないための住宅履歴データベースは非常に役立つと考えられる。

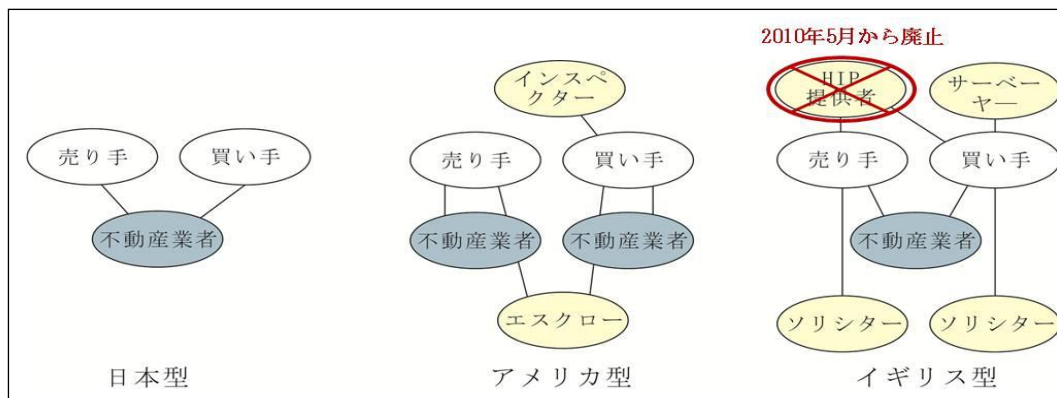


図 2-1 日本の既存住宅取引制度の特徴(出典：齊藤広子等、2009)

さらに既存住宅履歴情報システム作りに関する研究を比較すると、英国のシステムの大きな特徴は以下の3点であることが分かった：⁶⁰

- 1.) 取引の都度スナップショットをして、履歴を繋げる。
- 2.) 「HIP」で全国の唯一のデータベースを国が作る。運用する事業者は民営化されており、五年一回競争的環境の中で指名される。
- 3.) *House Condition Survey* のレポートを作ることを義務として法案に入れる。その義務を持つ人は：a) 住宅の供給者、b) 不動産取引をサポートするサーベイヤーの職能団体。」

取引する際に、このシステムにより、売手が「HIP」(Home Information Pack)に記述されている、物件に関するさまざまな情報を提供する義務がある。このシステムは実施された後、取引数が低迷になり、市場に悪影響を与えたこと等問題が起こしたため、2010年5月に廃止となった⁶¹。なお、現況の制度では、売買する際に、建物のエネルギー性能評価・

59 野城智也、中城康彦、腰原幹雄：住宅履歴情報がつくるこれからの住まいと暮らし、住宅、58(7)、2009

60 齊藤広子、中城康彦、住まい・建築のための不動産学入門、p17-19、2009

61 齊藤広子、中城康彦、英国の中古住宅取引制度の変化と専門家の役割、学術講演梗概集、p1445-1446、2011

認証(Energy Performance Certificate)に関する情報は、依然として公開する義務がある⁶²。

米国の仕組みを見てみると、情報の非対称性を緩和して取引を円滑化させるための方法として、齊藤ら⁶³により以下の二点が指摘されている：「1.住宅取引における買主責任体制を強化し、買主の意思で多様な情報が不動産業者以外の独立した専門家から入手できるようにする」、「2.消費者保護の観点から、行政による住宅・住環境情報を開示する」。このような外国とのシステムの相違を受け、日本においては、リクルート住宅総研究が⁶⁴、流通を円滑化するため、現状の制度の下で修正すべきことを以下のように提示した：

- 1.欧米諸国（特に米国）の不動産取引システムに学ぶこと（住宅の資産価値を重視し、資産価値に対する不利益や非効率をなくす）
- 2.経済学理論に合理的な市場システムを再設計すること（経済学理論に基づき、情報の不完全性を解消することで市場を健全化させる）

欧米と比べて特殊である日本の既存住宅取引制度の下では、欲しい情報が入手できず、頼りになりそうな第三者検査・評価制度も不完備であるため、買い手・居住者が担うリスクが大きく、既存住宅の購入志向がなくなってしまっている。流通を円滑化させるために、取引市場全体の仕組みを再考しなければならないことが把握される。

上記にあげた住宅情報の欠如という問題への対策として、住宅に関する基本情報と維持保全履歴が保存されていれば、性能・品質・値付けなどに対する判断が比較的容易になり、取引時に、売買双方の交渉もより円滑に進めると考える、住宅履歴情報を管理するということがあげられる。住宅の売買・点検・修繕・改修・改築というサイクルの各段階での維持保全や情報履歴の蓄積の大切さを考え、野城は、住宅履歴情報の整備の必要性和それがもたらす流通市場の理想的な好循環の有り様を提示した⁶⁵(図 2-2)。

62 http://en.wikipedia.org/wiki/Home_Information_Pack

63 齊藤広子、中城康彦、戸田聡子、米国カリフォルニア州における住宅売買時の情報と専門家の役割、学術講演梗概集、p1381-1384、2008

64 リクルート住宅総研：既存住宅市場に関する日米比較、既存住宅流通活性化プロジェクト、p30-52、2008

65 野城智也：住宅履歴情報の整備に関する取組と今後の方向性、日本不動産学会誌 26(2) p96-103、2012

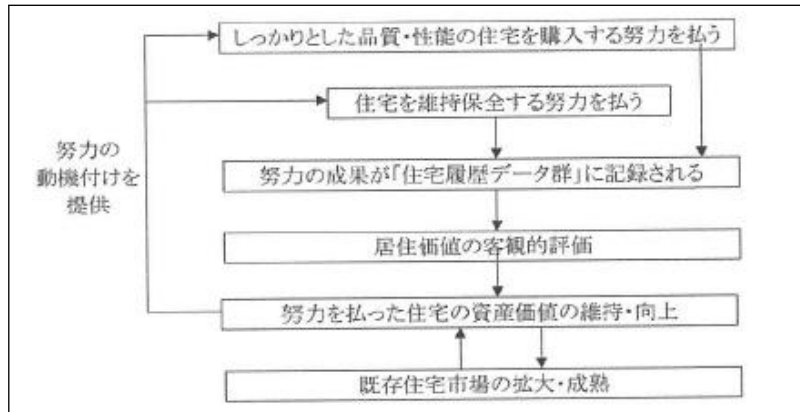


図 2-2 住宅履歴情報整備による住宅資産価値拡大の好循環(出典：野城智也、2012)

上述の既往研究をまとめると、住宅市場価格の値付けは、主に土地価値に左右され、建物価値は減価償却および耐用年数の概念を用いて残存価値が計算され、品質、性能、効用などは市場価格に反映されていない。そして、取引時に第三者で構成された支援・検査制度が不完備であり、居住者・買い手が意思決定を下すことが難しいため、既存住宅が市場においてあまり期待されていない現状に至ってしまった。なお、住宅流通市場の全体システムを再考し、物件の品質、履歴情報、価格に関する適切な評価システムが整備できれば、居住者に有用な情報を提供し、意思決定サポートすることが可能となり、既存住宅にたいする信頼性も高まり、流通シェアの拡大も期待できるはずである。

2-3.住宅流通フレームワーク

前述の既往研究により、既存住宅の取引制度では、住宅情報の欠如、また第三者評価者等の欠如により情報の非対称性が生じ、流通が滞っている。そのため、減価償却で既存住宅が過小評価されて売り手側に損失が発生してしまう一方、不完全情報で物件に対する品質・値付けの合理的判断ができなくなり、買い手は購入意欲を失ってしまう現況が把握された。ここでは、欧米諸国の取引制度と日本国内有識者の知見を基に、流通に係わるプレイヤー間の基本的な関係について日本の現状を図 2-3 のようにまとめる。

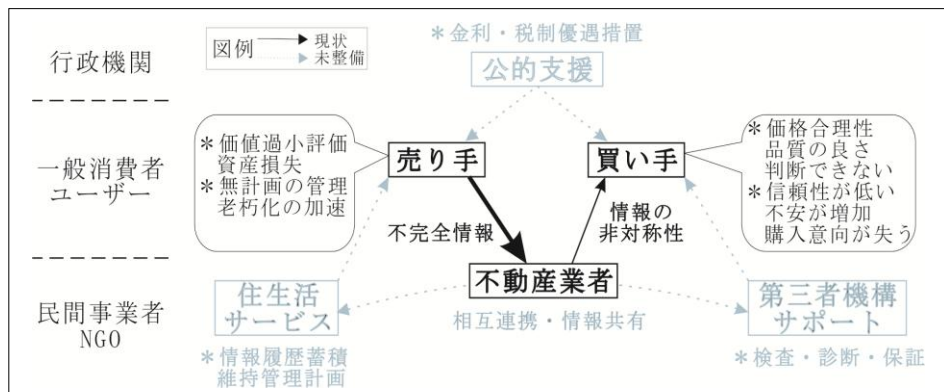


図 2-3 既存住宅流通におけるプレイヤーの関係図(本研究作成)

図 2-3 に示した現況を打開するため、産官学界各方面の研究と努力方向により、現状の住宅流通市場は図 2-4 (黒字の部分) ようなフレームワークの形成に向かい進んでいることが国の施策方針や表 2-4、2-5 の内容より把握される。国が設けた基準に従い、住宅性能検査・診断・認証などの業務を遂行して第三者評価制度を構築することは、住宅のハード面の向上を捉えたサポートシステムであると考えられる。その一方、住宅のソフト面からみると、住宅履歴情報の蓄積、もしくは各社独自開発の管理システムを応用することは、居住者にの住生活における運用・維持管理などの計画を立てることに役に立つと考えられる。

評価ツールと管理サポートツールにおいて、両方向のデータのフィードバック、また時代の流れと共に基準を更新・再検討することはもちろん重要であるが、フレームワーク全体における情報の相互参照、連携性の向上を目指したインターオペラビリティが確保されたプラットフォームを構築することも不可欠であると考えられる。

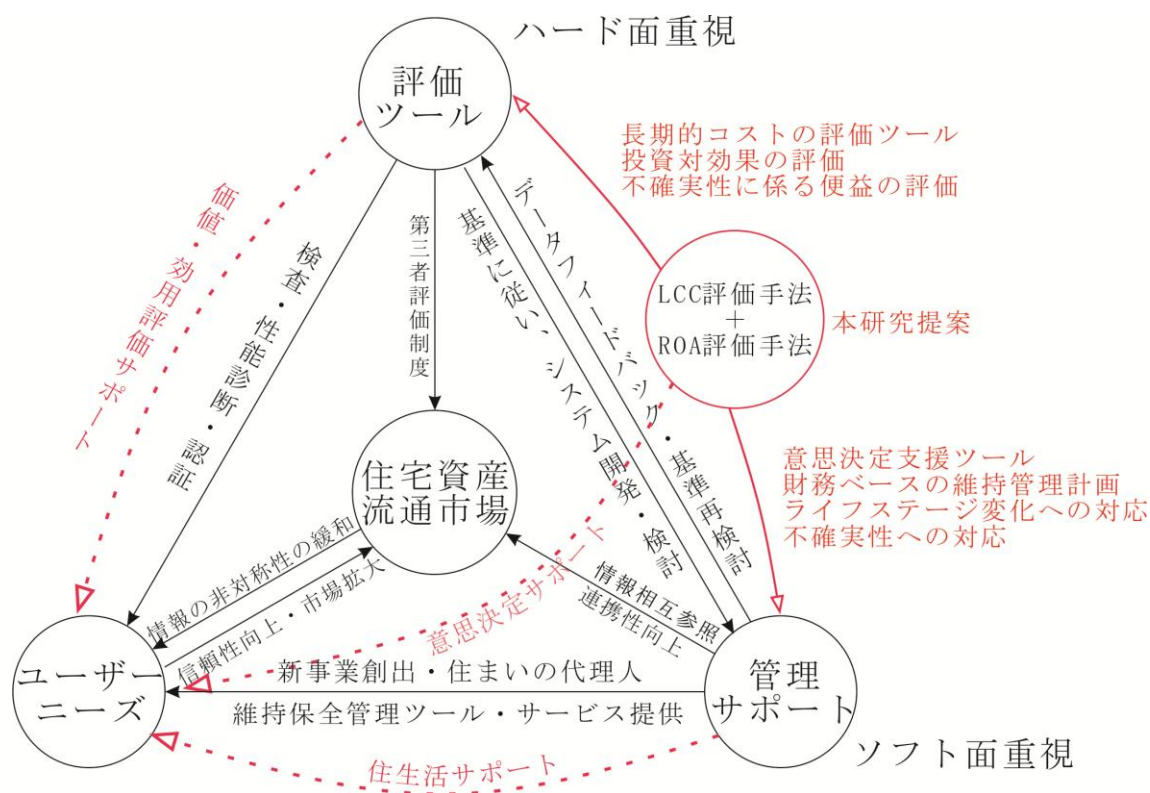


図 2-4 既存住宅流通市場における理想のフレームワーク(本研究作成)

このようなフレームワークを形成することができれば、現況の「情報の非対称性」という現象を緩和することが可能になると考えられ、既存住宅流通市場の拡大も期待できるようになる。

しかしながら、このフレームワークにおいても、更に課題と考えられることがある。

これまでの多くの既往研究は、サプライエンドにおける評価、情報履歴の徹底など、主に住宅供給側の責任的問題としての問題解決方法が論じられてきたが、デマンドエンド、即ち住まい手側における、位置づけとしては、特に既存住宅の性能向上に関わる改修や、リノベーションへの期待があげられる。このような既存住宅市場への投資主体である、住まい手の観点より、上記のフレームワークに関する本研究のヒアリング調査によると（詳細は付録1に参照）、現状のサービスフレームワークでは以下の三つの問題点が明らかになった。

I).改修・リノベーションがもたらす効用が提示されていない。例えば、現状の住宅性能評価の仕組みでは、断熱・省エネ改修によるエネルギー削減効果が改修前に予測されておらず、改修後に実測するしかない。

II).改修・リノベーションの提案は「現時点で決める」しか選択肢がない、「先延ばしにする」可能性が考慮されていない。

III).維持管理計画の提案はマンションの管理組合のみが対象であり、一部の戸建て住宅向け、または、個人向けのサービスはあまり見えない。

上述の通り、住宅に対する改修・改築効果が分からないと、ユーザーのデマンドを満たすために何を、いくらを投資すべきかという判断ができない。そして、適切な維持管理計画が欠けていると、どのくらいの居住期間で投資から回収できるかも把握できない。また、改修計画・改修タイミングは、ユーザーの資金運用計画(FP)に合致しなければならない。それは、改修のために家計が破綻してしまうと本末転倒であるためである。この三つの問題点には相互関係があるが、現状の仕組みの中では、特にコスト・マネジメントのためのサービスが欠如していると把握される。即ち、住まい手・買い手側において、住宅のコストに関する情報の流れを作り得る仕組みや、評価手法が存在していないことが、住宅への投資可否判断における支障となり、特に問題視される。長期的な居住を前提とする中、物件により将来の維持管理・改修コストが異なるため、ライフサイクルコスト分析を用い、個別の住宅に対する「投資対効果」を評価するサービスがあれば、ユーザーの意思決定に役に立つと考えられる。

これまで、コスト・マネジメントに着眼した、中長期的な投資効用を評価するための住宅 LCC 評価手法は、サプライエンド志向で住宅に焦点をあてていたが、住まい手・買い手の条件からみる、住宅への投資行為に関する適切性を検討することが少ない、デマンドエンド向けの支援手法が欠如しているという問題があるため、本研究はその問題点を改善することを目標に、一般の LCC 評価手法よりも柔軟性や適応性がある意思決定を支援する LCC 評価手法を提案する。提案するプロセスでは、ユーザーの条件を考慮した LCC 評価結果を用いて投資の可否判断を行うため、ユーザーの意思決定を支援するツールとして有用性に期待できると考えられる。また、住宅のライフサイクルでは、不完全な情報、または不明確な動向の影響により、想定より余計なコストが生じる可能性があるが、それを予め、計算の仕組みに考慮しておいた評価結果は適応性があるため、ユーザーにとって今後の資産・コスト管理計画を立てるために有用なものになり、フレームワークの充実化に役に立つことが期待される(図 2-4、赤字の部分)。

しかし、住宅流通市場で、既存住宅と新築住宅、または戸建て住宅とマンションは、異なる点があり、求められる情報も異なるため、提案 LCC 手法を実際に応用する際に、各プロジェクトに合わせるように入力条件と計算の方法を調整する必要があると考えられる。従って、以下は異なる物件の相違点を挙げ、個人ユーザーがそれに対してどのような情報を求めるのか、そして評価手法が如何に対応するのかを概略に説明する。ただし、異なる物件における取引形態、法的責任や情報開示の実態などが大きく異なっており、不動産学分野に入っているため、本研究ではそれに対して深く議論しない、今後の課題とした。

新築住宅：購入する場合に、基本構造部分の瑕疵担保責任期間は引渡日から 10 年間義務化されており、要件なしで住宅ローンの減税対象となる⁶⁶・⁶⁷。住宅性能表示制度を利用する時、10 分野 32 項目で評価するため、性能の把握がしやすい⁶⁸。

→メンテナンス状況により購入後の修繕・維持費と次のライフステージにて生じる改修・改築費などのコストが変わるため、計画検討は居住者にとって比較的重要である。一般の修繕・維持費以外、情報履歴を蓄積するためのコスト、そして、「修繕・維持コスト対資産価値維持(または市場価格)効果」などは、LCC 計算の重点である。

66 住宅保証機構により、<http://www.mamoris.jp/seinou/>

67 すまい給付金事務局により、http://sumai-kyufu.jp/outline/ju_loan/index.html

68 住宅性能評価・表示協会により、<http://www.hyokakyokai.or.jp/seido/index.php>

既存住宅：築年数が一定年数以下、現行の耐震基準に適合している物件しか、住宅ローンの減税対象とならない。住宅性能表示制度を利用する時、評価が可能な項目は7分野27項目と、既存住宅のみを対象とした2項目が設定されている。性能評価の認定の有無などの情報は、事前に確認する必要がある。

→過去の維持管理の履歴や性能評価書などの情報が欠ける可能性がある。コスト瑕疵保険への加入や性能評価の申請で情報を補完することが可能であるが、手間と費用がかかる。なお、不具合が発生する時、修繕・改修せざるを得ない可能性がある。購入する前、これらのリスクを把握するためのLCC試算は、買い手にとって重要な参考である。

戸建て住宅：改修・改築など比較的に行うことができるが、建築基準法・建築協定・地区計画はもちろんながら、町内会・自治会・団地管理組合などの居住者組織に定められた管理規定に従わなければならないところがある⁶⁹。新築または将来に増・改築する際に、それらの規制に制限されることがあるため、事前に把握する必要がある。

→点検・修繕・改修などは、すべて居住者自らで行うため、維持管理が比較的難しい。それに、住宅構造により耐用年数が異なり、残存価値がほぼ土地代しか残らないため、資産として如何に有効に活用するのかが、居住者にとって重要な課題である。従って、将来も住み続けるように改修・改築を行うのか、いつか売却する予定で資産価値(市場価格)を維持するようにこまめにメンテナンスするか、リフォームして資産価値(市場価格)を高めてから売却するのか、様々なシナリオを想定してLCC評価を行うことが重点である。

マンション：マンションは区分所有する建物であるため、専有部分を売買すると、必ず共有部分と敷地利用権が付いてくる。マンションの運営管理は、「建物の区分所有等に関する法律」と管理規約に従うため、区分所有者が勝手にリフォームすることが禁じられる。なお、共用部分の修繕は区分所有者全員が協力し、費用を負担するため、長期修繕計画と計画的な修繕が必要となる。管理規約と管理組合の仕組み、修繕計画と修繕積立金の内容などの情報が重要である。

→改修は専有部分に限られ、増改築が不可能であるため、ライフステージの転換と居住ニーズの変化を如何に対応するのかが重要である。そして、資金の運用にもかわるため、マンション全体の修繕・改修周期と専有部分の修繕・改修周期を統合的に考慮することが必要である。従って、固定支出(修繕積立金)とイレギュラーな支出(リフォームなどの改修費)を把握したLCC試算結果が、資金計画を立てるのに有用な参考であると考えられる。

69 齊藤広子、戸建て住宅地の管理の現状と今後のあり方、家とまちなみ、48、2003

第三章 不確実性下の意思決定に関する既往研究

3-1 不確実性下での意思決定過程

3-1-1 意思決定における定義・特性

第一章に述べたように、本研究の主な目的は a) 居住行為に関わる意思決定を支援するための過程の提案、b) 住宅 LCC 計算にかかわる不確実性を考慮した LCC 評価モデルの提案の二つである。居住者にとっての住宅は資産の一つであるので、的確なメンテナンス計画に従い、効率的に管理されなければその価値は低下するものと考えられる。居住期間内に、居住者は、修繕や改修を複数回行うことが想定されるが、いつ、どのような工事を行うという選択肢は数多く存在する。すなわち、このような意思決定には、多数くの選択肢から居住者の条件や都合に合った可能解をろ過し、その上、居住者が自分の選好志向でその中から実施案を選び出すという過程が存在する。このような意思決定過程には、経営学や認知心理学の分野において、下記のような既往の定義が存在する。

「特定の目標を達成するために、ある状況において複数の代替案から、最善の解を求めようとする行為である。……「最善の解」は最適化とも言え、決定者の望みや客観的条件により定められた基準に従って、割り出すものである。」(木下、1996)⁷⁰

「意思決定(*Decision making*)は、操作的には、一群の選択肢(*alternatives*)の中からある選択肢を採択すること、すなわち、行為の選択(*choice*)であると定義することができる。」(竹村、1996)⁷¹

また、意思決定過程というのは、「意思決定の主体である組織や個人にとって” 正当な望ましい結果を導く論理的整合性をもった決定過程”」であり、「” 価値合理性”・” 行動方針の合理性”・” 行動手順の合理性”」、三つの合理性を追求し効率的に行動目的を達成すべく努力する」である⁷²。

意思決定問題に関して、問題の提起から決定までの過程は、分析対象により多少異なるが、一般的な手順は以下図 3-1 のように示す。この手順の図から、目的の明確化・前提条件の整理・評価尺度と基準の決定・不確実性の確認分析などが重要であることが分かる。

70 木下栄蔵、意思決定論入門、1996

71 竹村和久、市川伸一(編)、意思決定とその支援、認知心理学 4 巻・思考、p81-105、1996

72 飯田耕司：意思決定分析の理論、2005

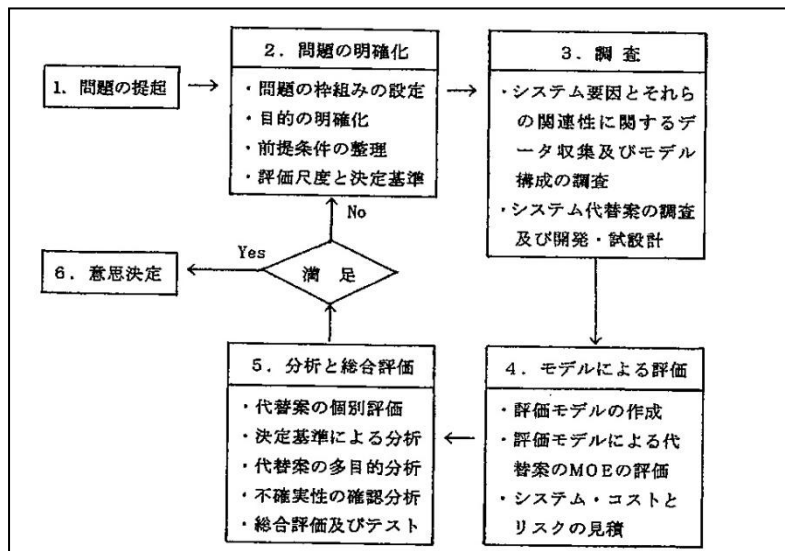


図 3-1 意思決定分析の循環手順(出典：飯田耕司、2005)

ここで一つ注意すべくは、代替案の評価結果が、意思決定者の主観的な意志を含めた決定基準に「満足」するかどうかということは、意思決定過程の中で非常に重要な要素となっていることである。すなわち、意思決定過程の中における評価手法は、客観的なデータを用い、科学的・定量的分析を通じ、合理的な判断を導くために使われるが、手法自体は意思決定の主体ではなく、あくまでもサポート役である。そのため、意思決定過程の最後の段階で代替案が実行されるかどうか、それについて、柏木も「ツール自体は「あくまで」正解」を出すものではなく、できるだけ恣意的な判断を排除し意思決定者がより客観的に最終判断を下すためのサポート的な位置づけである」というように指摘している⁷³。そのため、本研究の提案手法も、サポート役の位置づけとして柔軟性を持たせ、様々な意思決定主体(居住者など)の立場から分析結果を解釈し得るように位置づける。

上述のような、ある目標を据えた後、想定した将来の環境条件の下で、目標を達成するための代替案の効用を定量分析で予測することは、理想的な意思決定方法である。しかし、意思決定を困難にする要因として、様々な形の不確実性が存在する。その例として、将来の環境条件がどのように変化し、現在の意思決定の結果がどのような関係をもち、意思決定者の利害得失にどの程度の影響をもつかということがあげられる。将来の環境条件のような事象には不確実性が存在するため、それに対する正確な予測が不可能であり、不確実

73 柏木吉基、Excel で学ぶ意思決定論、2006

性の捉え方が現代科学にとっての重要な課題であると指摘されており⁷⁴、意思決定の科学やその定量的分析では、「意思決定における不確実性の減少」がその目的となっている⁷⁵。このような認識のもとに立つと、不確実性および不確実性下での意思決定過程に関する議論は、本研究の提案手法には不可欠な要素であると考えられる。

3-1-2 不確実性の影響・分類

事象を観察してその変化を科学的方法で捉え、その上で、今後の事象の展開を予測するのは科学の分野が目指す目的である。なお、現代科学における様々な分野では、事象の不確実性、すなわち事象の予測不可能性が主張されている。これについて、坂⁴⁶は、物質・生物・社会科学領域における多数の研究から、以下のような結論を導いた：「事象の不確実性の中で確実性を探る試みであるが、確実性は特別の条件の下においてのみ得られるだけである。」

事象に対する探求の方法が間違いない限り、不確実性の存在は、事象の予測に失敗を招く要因であると考えられる。例えば、古典経済学は、理想的な状況を想定して、論理を展開する傾向がある。すなわち、古典的経済理論は、完全情報がある状況の下で取引者が常に合理的な行動をとるという前提で、市場あるいは人間の経済行為を解釈しようとした。しかし現実では、「市場の構造のカオス」⁷⁶と呼ぶ不確実性の影響により、市場価格や株式の価格などの変動が不規則であり、理論モデルでは解釈・予測できないことが多い。また、人間は、常に合理的に行動している生き物なわけではないため、それは古典的経済理論の決定的な盲点であると、Danford は提示している⁷⁷。

意思決定分析にも例外なく、分析対象により様々な不確実性が存在している。予測の正確性への影響を減らすため、不確実性を外部要素のノイズではなく、固有の特性と見なすべきであると考えられている。それについて、W. Fawcett らが以下のように提示している⁷⁸：

「Many decision-making tools are designed to work beautifully in situations where data is available and certain,.....We need decision-making tools that acknowledge uncertainty as an inherent feature of the world, not extraneous noise」

74 坂恒夫：物質科学・生物科学・社会科学における不確実性、岐阜薬科大学紀要 57、p 21-31、2008

75 飯田耕司：意思決定分析の理論、2005

76 高安秀樹：経済物理学の発見、2004

77 Daford Howard S：不合理な地球人--お金とココロの行動経済学、2010

78 William Fawcett、Ian Ellingham、Options-based Evaluation of Facade

Refurbishment Alternatives、The Whole-life performance of facade - Proceeding、2001

経営戦略の分野において、情報を収集して過去と現況の事象の把握を基に、将来の動向を予測するのは、今後の目標と経営方針を確立する際に重要な役割を成し、実行事項の成功か否かに対し、決定的な影響を与える。なお、多くの意思決定者は、不確実性の分類や影響を把握できず、二元論で考えてしまい、多くのリスクを抱え込む。特に DCF 法(割引キャッシュフロー)を用いた場合にはよく犯されたミスに関して、Courtney らは以下のように述べている：⁷⁹

1. 「キャッシュフローの不確実性を過小評価して、将来に表れるチャンスや脅威に対応できなくなる
2. 『未来は予測できない』と考えしまうと、伝統的なプロセスを諦め、直感に頼って意思決定を下す。『とにかくやってみよう(just do it)』式の戦略を立ててしまう」

本研究が対象とする、LCC 手法は DCF 法を用いた手法の一つであるため、意思決定分析をする際に、どのような不確実性があるのか、如何に対応すれば良いのかという把握には、より深い考察が必要であると考えられる。

意思決定上に存在し得る不確実性の様態は、飯田により以下のように分類される⁸⁰：

A. 将来システムと決定問題の構造に関する不確実性

A-1. 将来状況の不確実性

A-2. 意思決定問題の構造の複雑性

B. 対象問題の評価の多様性やシステムの複雑性に起因する不確実性

B-1. 最適行動が不明確

B-2. 評価の多様性

B-3. 決定機構の複雑性

B-4. システムの複雑性

本研究における、居住行為に関わる改修・改築などの意思決定問題の場合では、将来における物価・金利変動、居住者のライフステージの変化、部品・設備の交換周期などが、現時点に把握できない要素であり、A-1 の不確実性に該当すると考えられる。また、代替案の性能・コスト・居住者に対する満足度などの複雑な評価項目は、B-2 に該当するが、その一方、多数の代替案から何を選択し、いつに実施すべきかという最適行動の選択は、B-1 に

79 Hugh Courtney, Jane Kirkland, Patrick Viguierie : 「Strategy Under Uncertainty」、Harvard Business Review、1997。日本語新訳バージョン：「不確実性時代の戦略思考」、ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス、pp64-81 による。2009

80 飯田耕司：意思決定分析の理論、2005

該当すると考えられる。これらの不確実性を考慮するにあたり、その程度に関して、Courtney らは、四つのレベルに分類している⁸¹。(図 3-2)

レベル1：確実に見通せる未来 *A Clear-Enough Future*

レベル2：他の可能性もある未来 *Alternative Future*

未来を描き出すことができる。確率を知る上での手掛かりは得られよう。

レベル3：可能性の範囲が見えている未来 *A Range of Future*

起こりうる未来を一定範囲内で特定できる。その範囲は、カギとなる変数によって決まる。ただし、異なる複数のシナリオが描かれることはない。

レベル4：まったく読めない未来 *True Ambiguity*

未来を左右する変数を把握することも難しく、予測などとうてい無理である。時間が経過するにつれて、他のレベルに移行していく傾向がある。

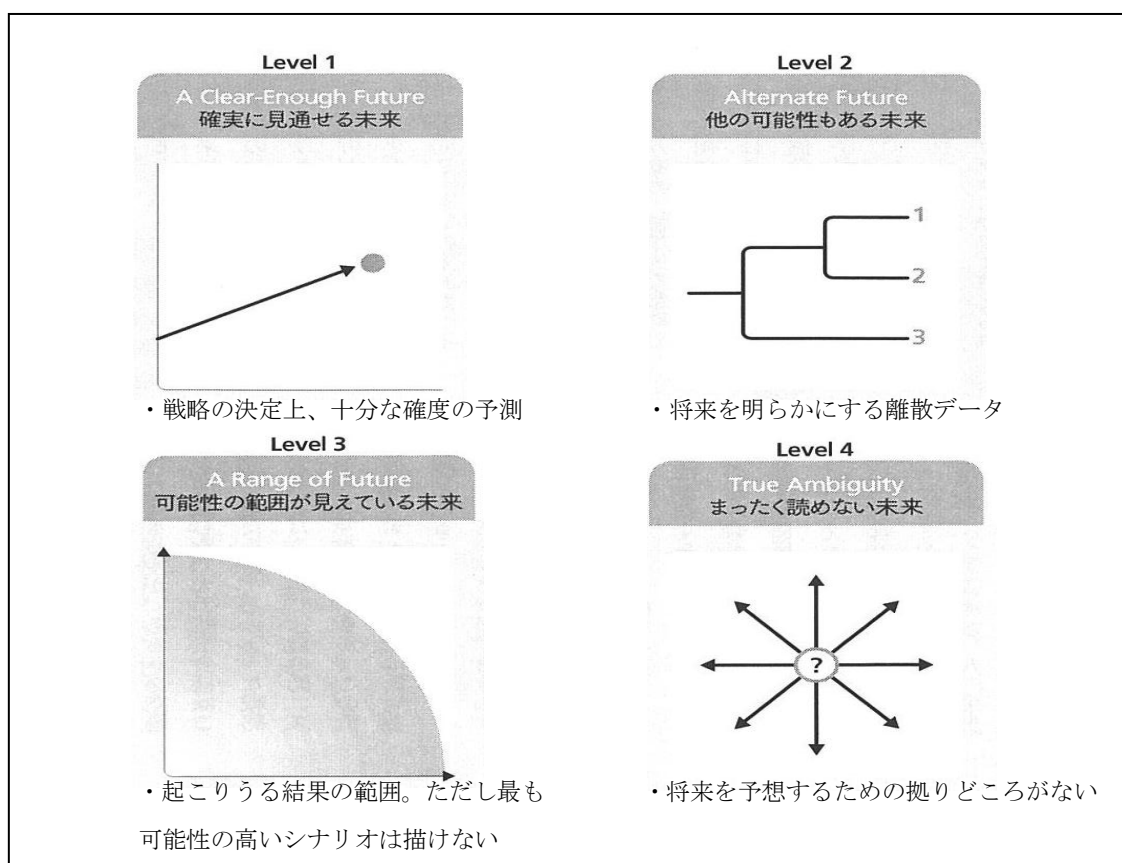


図 3-2 不確実性の四種類(出典: Courtney ら、1997)

81 Hugh Courtney, Jane Kirkland, Patrick Viguerie: 「Strategy Under Uncertainty」、Harvard Business Review、1997。日本語新訳バージョン: 「不確実性時代の戦略思考」、ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス、pp64-81 による。2009

将来の可能性の範囲を把握することは意思決定分析に非常に重要であるため、適切なツールを用いれば不確実性に対する分析が可能となり、その不確実性に適応する行動の検討も可能となると Courtney らが提示した。なお、それぞれの分析ツールは不確実性に対応できる範囲が限られる。本研究は、改修・改築などの意思決定問題に対する分析手法であり、LCC という評価尺度で代替案のオプション価値を評価するモデルでもあるため、Courtney らの研究によると、レベル2までの不確実性は、本研究評価モデルが扱える範囲となる。

現時点で取得できる情報により、どのような不確実性があるのか、それに対してどのような方法で定量化するのか、どのような姿勢で対応するのかということは、意思決定分析において非常に重要である。本研究における不確実性に対する考え方は、次の節で述べるが、ここでは、LCC 手法で改修の効用・収益を分析した Ellingham らの研究を例示する⁸²：

Ellingham らは、建物改修における投資効用の観点から、将来に潜在する不確実性を資金運用・技術革新・規則・用途・計画期間、という五つの項目に分類した。そして、把握できる程度を分析し、不確実性の様態を捉えた(図 3-3)。この研究にからは、ユーザー・建物・用途により、潜在する不確実性の様態が異なり、それに対する対応方法や行動も異なるため、意思決定分析を行う際に、決定者が自らの条件を考慮した上で、事前にこのように不確実性評価を行うべきであることが把握された。

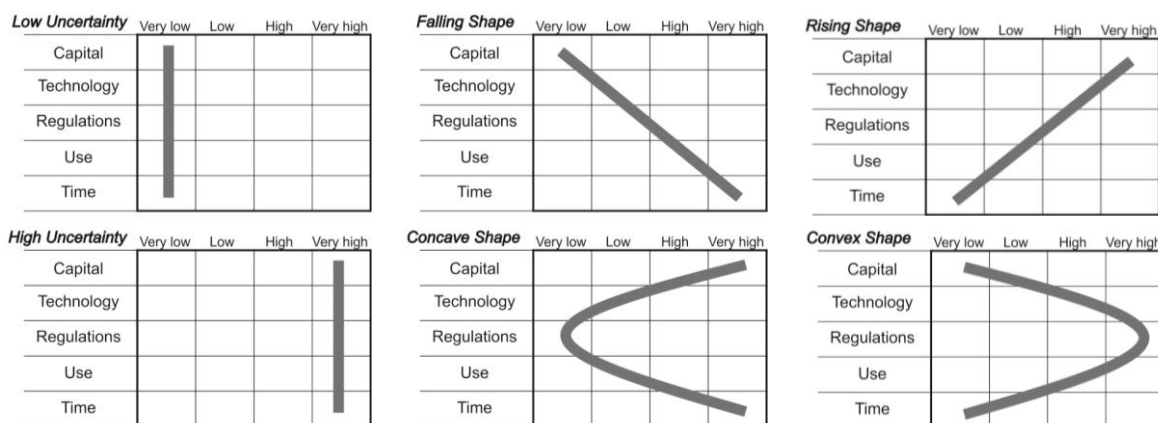


図 3-3 対象・用途別による不確実性の評価表(出典: Ellingham ら、2006)

3-1-3 住宅 LCC 分析に存在する不確実性

前述の知見をもとに、本研究においては、住宅 LCC 分析における不確実性を物理要素・経済動向・規制改正・人の要素・その他、という五つの分類で検討し、それぞれの影響を

82 Ian Ellingham and William Fawcett : New Generation Whole-life Costing, 2006

下表 3-1 のようにまとめている。なお、本研究において、LCC 計算のための説明変数としてパラメーター化したのは、他の可能性もある未来（レベル 2 の等級）に該当する、部材・設備の寿命、物価・利子率の変化、調達・労務費、世帯構成の変化のみである。下記にパラメーター化に関する詳細を記述する。

レベル 2 の不確実要素：

今後の事象の展開は、多変量解析や数量化理論などのデータを用いて推測されることが可能であるならば、レベル 2 の不確実性に該当する。

表 3-1 住宅改修・改築における LCC 計算にかかわる不確実性(本研究作成)

住宅改修・改築における LCC計算にかかわる不確実性		不確実性の影響				本研究 議論対象
不確実性の等級 (現況により)	不確実性の分類	周期の変化		コスト・支出の増減		
		居住期間	修繕改修	改修コスト	維持費	
レベル1確実見通せる未来 A clear-Enough Future	物理要素	構造躯体の寿命	○			
		部材・設備の寿命		○		✓
		技術・効率改善		○	○	
レベル2他の可能性もある未来 Alternate Future	経済動向	物価・利子率の変化		○	○	✓
		調達費・労務・人件費		○		✓
	規制改正	耐震・防火・遮音性		○		
		省エネ性能		○	○	
レベル3		管理規約		○	○	
可能性の範囲が見えている未来 A Range of Future	人の要素	世帯構成の変化	○	○	○	
		転勤・転職	○			
レベル4全く読めない未来 True Ambiguity	その他	事故・病気・怪我	○	○	○	
		災害(地震・台風など)	○	○	○	
		戦争・動乱	○	○	○	○

1) 部材・設備の寿命

部材・設備の寿命は修繕・交換の周期との関連性があるため、LCC 評価の計算では、修繕・交換周期の設定が評価結果に大きいな影響を与える。その周期の検討と設定もメンテナンス計画にかかわるため重要である。今まで多くの研究では、耐用年数に基づき、「構法的序列と周期の整合」⁸³という概念でメンテナンス周期を練り、LCC 評価を行ってきた。なお、現実での部品・設備の交換は、状況次第で想定時点より前倒ししたり、先送りしたりすることが少なくない。それは、手入れの頻度および自然劣化の激しさが異なるため、当初の想定と異なるタイミングで、機能不具合が発生して、交換せざるをえない場合があるからである。交換計画には、こういう不確実性があるため、その周期をより正確に把握

83 小原誠、長生き建築の仕組み-ライフサイクル計画論、p164-p189、2005

するよう、小松らのように⁸⁴統計データを用いて部品・設備の残存率を推測する研究も多い。

日本において耐用年数とは、国税庁の耐用年数の省令により定められるものである。実際の物理的寿命ではなく、設計寿命、すなわちに「Design Working Life」に近い。なお、日本における住宅・部品・設備の交換周期研究に用いられる統計データは、「Technical Service Life」と「Functional Working Life」と両方の概念が混ざった結果であると考えられる⁸⁵。従って、機能的耐用年数のみならず、使い手(居住者)の選好志向が変わる場合、あるいは機能が使い手の期待効用に満足できなくなる場合、どちらも交換時点の変動に影響を与える。

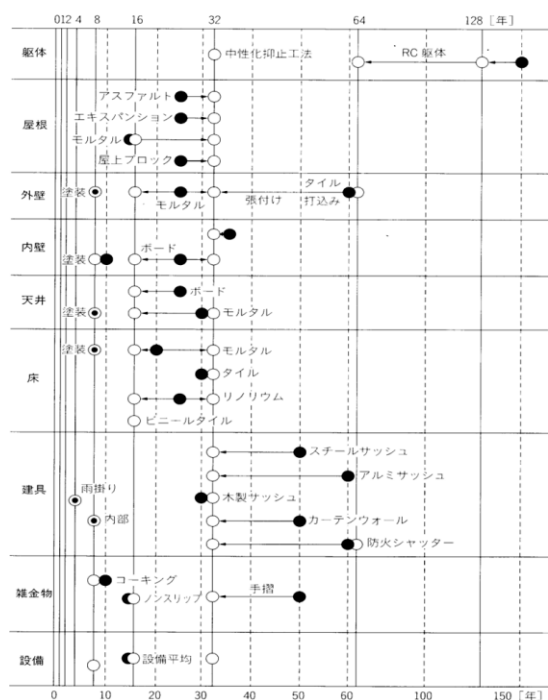


図 3-4 2ndサイクル周期の整合(出典：小原誠、2005)

表 3-2 建物の部分別の交換周期(抜粋)
(出典：小松幸夫等、2000)

空間	部位・部材	修繕周期(年)	空間別修繕周期(年)	60年間の空間別修繕回数(年)
外壁	外壁	15	15	3
	雨樋	16	16	3
陽台	全体	14	17	3
	床部分	16		
	手摺	17		
設備	給湯器	9	11	5
	風呂釜	12		
	電気配線	28	28	2
	給水配管	26	26	2
	排水管	26	26	2
	ガス配管	13	13	4
居間	アンテナ配管	13	19	3
	床	13		
	壁	12		
	天井	16		
	ドア	25		
	サッシ	31		
	ふすま	13		
	障子	13		
コンセント	25			

84 小松幸夫、遠藤和義:戸建住宅のライフサイクルコストの推計、日本建築学会計画系論文集、p241-246、2000

85 Design working life : assumed period for which a structure is to be used for its intended purpose(with anticipated maintenance but without major repair)

Technical service life : period for which a structure can actually perform according to the structural requirements based on its intended purpose(possibly with necessary maintenance but without major repair)

Functional working life : period for which a structure can still meet the demands of its (possibly changing) users (may be with repairs and or adaptations)

R.Blok、F.V.Herwijnen、Alksander Kozlowski、Szczepan Wolinski : Service life and life cycle of building structures、2001

しかし、こういう不確実性を考慮せず、同等品交換(like-for-like)⁸⁶の概念で、修繕・改修周期を単一パターンとし、LCC 評価を行う研究が多いのは現況である。

Grussing ら⁸⁷の研究では、交換時点の意思決定に影響を与える、1.物理的な要求機能、および 2.ユーザーの好みによる心理的な要求機能の両方を考慮した。そして、性能指標(CI: condition index)を 0 から 100 に分けて、「CI=40」と「CI=80」、二つの修繕・交換周期計画を練り、それぞれの投資対効果 SIR(Saving-to-Investment Ration)を比較した。しかし、この研究では、性能劣化の曲線が単一パターンで想定されているため、メンテナンスなど次第で、劣化の速さが異なり、交換時点も変わるという不確実性が反映されていない。このことから、当初の予測期待値が外れる可能性が高いと考えられる。よって本研究では、性能低下状態によって交換時点が変動するという不確実性を、LCC 評価に組み込むことにする(図 3-5)。

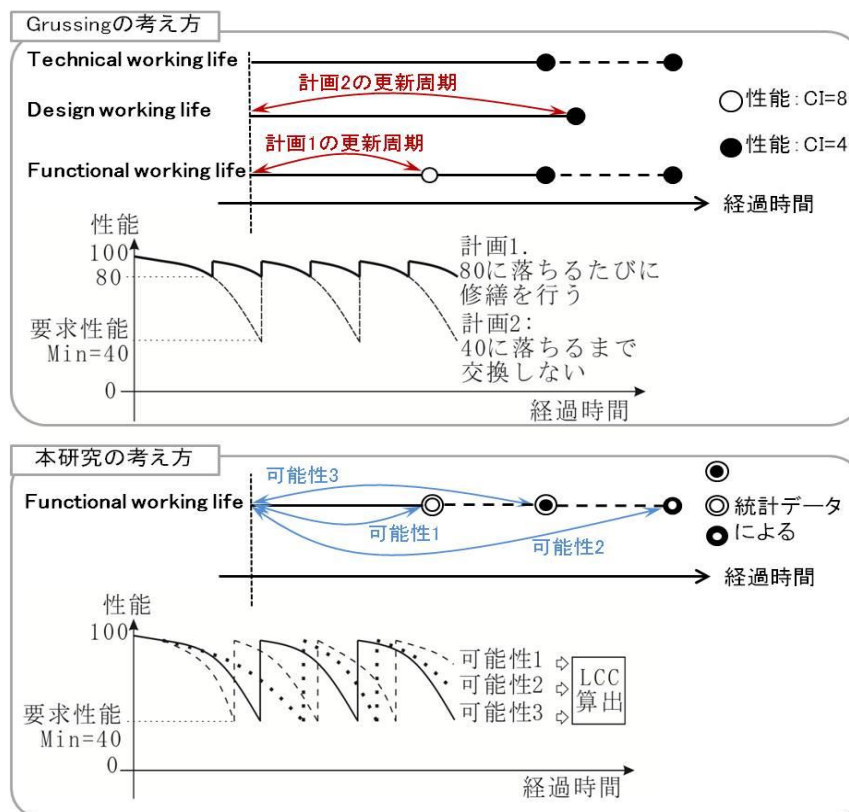


図 3-5 不確実性のある交換周期に対する考え方 (本研究作成)

86 Ian Ellingham, William Fawcett : New Generation whole-life costing, p38, 2006

87 M.N.Grussing, L.R.Marrano, Building Component Lifecycle Repair/Replacement Model for Institutional Facility Management, 2007

しかし、交換の原因は機能の不具合であるか、個人の満足度を満たせないか、このような情報が統計データからは欠如しているため、双方の要因がもたらす影響とその相違が、本研究には反映不可であった。そのため、不確実性を考慮する上で、より正確な交換周期を検討するため、交換の原因が区別されるような情報の蓄積方法を設定することは、今後の課題であると考えられる。

2) 経済動向

DCF 法(Discount Cash Flow)を用い、将来に発生しうるコストを現在価値に換算した LCC 手法では、割引率をどの値で採用するかにより、計算結果に大きな差異が生じる。意思決定過程においては計算結果次第で今後の行動を検討するため、設定のミスや間違っただ判断により不適切な値を使用すると、大きなリスクを生むことになる。その重要性について、Ellingham らは図 3-6 のように強調している⁸⁸：

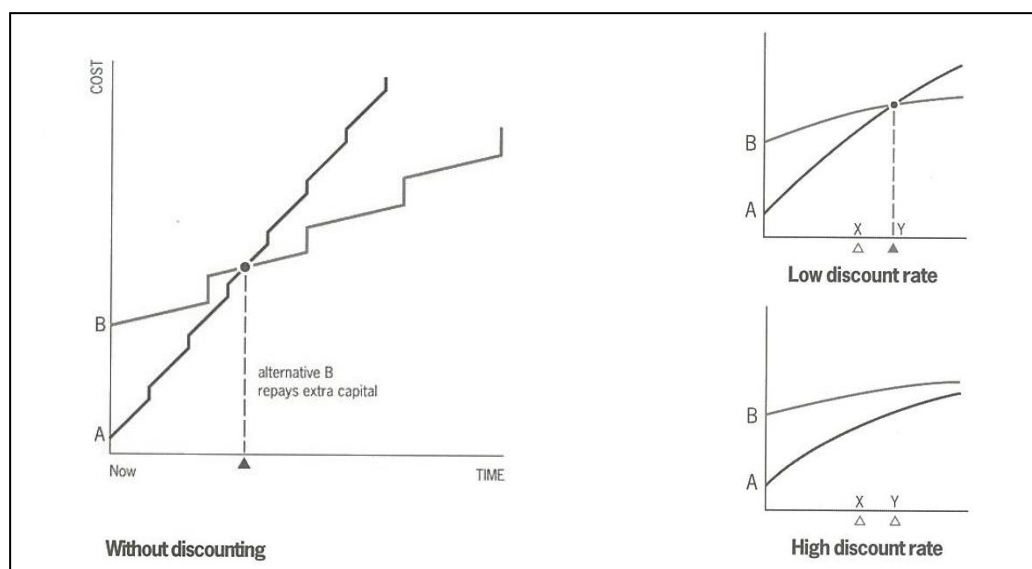


図 3-6 割引率の設定によるコスト現在価値の計算に対する影響(Ellingham ら、2006)

現実において、物価変動率・実質利子率は時間経過とともに変動している要素であり、リーマン・ショックのような出来事が発生しない限り、過去のデータと現況の情報によって、その推移の傾向が予測できる。それは DCF 計算の割引率の設定に強い関連性があるが、多くの LCC 評価では、実質利子率と物価変動率などの説明変数を固定値で設定しており、単一の仮定条件で想定されるのが現況である(図 3-7、左)。しかし、将来における変動の可能性が多数存在するため、固定値による局所的予測結果には、多数の可能性が存在する事

88 Ian Ellingham, William Fawcett : New Generation whole-life costing, p19, 2006

象を描写することができない。この欠点を補うため、一般の LCC 評価では、異なる仮定条件を想定した上で、感度分析を行って予測の範囲を広げる方法がある。たとえば、五十嵐ら⁸⁹の研究では、実質利率率が 1%から、2%、3%.....10%まで、それぞれの状況での

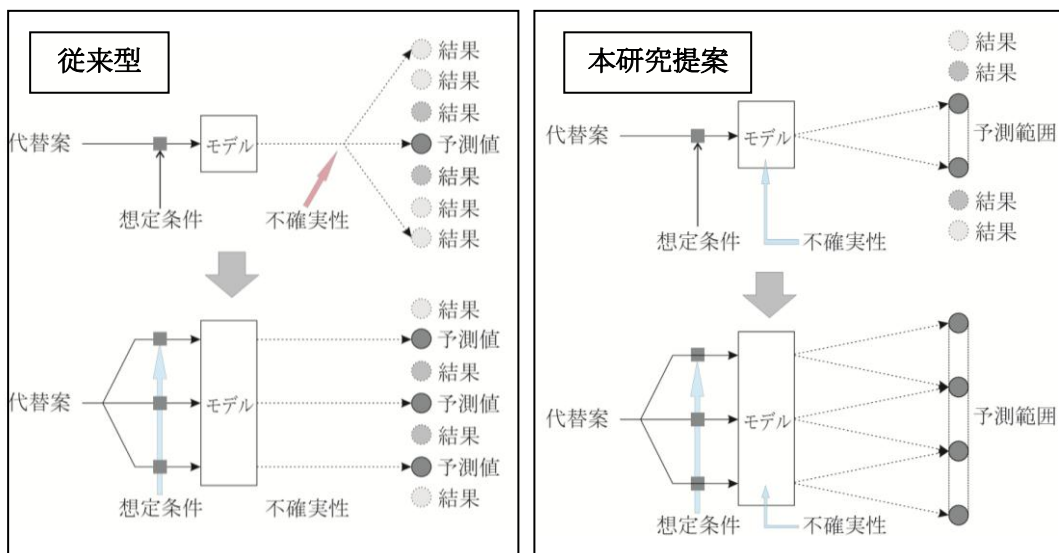


図 3-7 従来型と本研究提案における LCC 評価モデルの比較(本研究作成)

予測結果を比較し、分布の範囲を捉えようとした(図 3-8)。そのことにより、実際の結果に的中する可能性が大きくなるが、計算モデルの変数は依然固定値で設定されるため、予測値は局所的のままとなる。また、仮定条件と予測結果は一対一の関係にあるため、仮定条件ごとに複数回の評価計算を行う必要があり、仮定条件を多く想定しなければ予測が外れる可能性があるという欠点は依然として存在している。

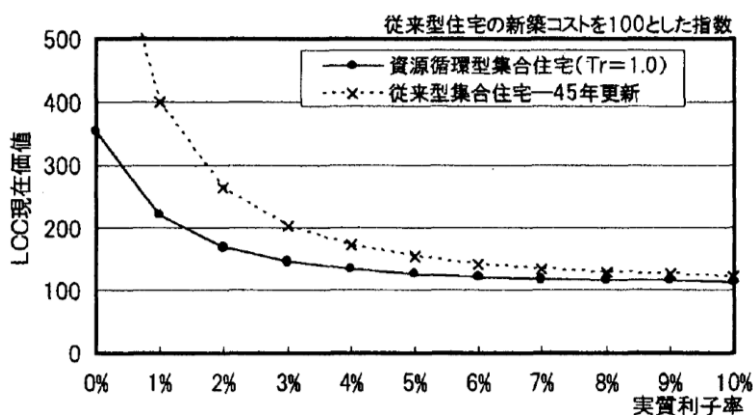


図 3-8 各住宅の LCC 現在価値(出典：五十嵐ら、2003)

よって本研究では、不確実性を外的要因ではなくパラメーターとして評価モデルに組み込んだ。そして、利率・物価変動などの説明変数における上昇・下落率および変動幅(変

89 五十嵐健、嘉納成男：資源循環型集合住宅のライフサイクルコストの評価、日本建築学会計画系論文集(568)、p101-108、2003

動の激しさ)を想定した上で、将来の変化の推移を二項分布確率過程で表した(4-2-1にて詳述)。不確実性と確率を考慮した本研究の評価モデルには、予測がピンポイントではなく、分布範囲と分布確率も把握できるような結果となる(図 3-7、右)。また、一般の手法を踏まえ、本研究では将来の想定シナリオを仮定条件として評価モデルに組み込み、将来発生しうる結果と予測値の範囲を重ねるように、幅広く捉えようとしている。

レベル 3 の不確実要素：

法律上における耐震・防火・遮音性・省エネ性能など、規制の改正により、当初の予測において想定していなかったコストが生じる可能性がある。(例えば既存不適格建物が新基準にアップグレードする等) また、居住者の仕事の都合における転勤・転職により、本来の計画における予定居住期間が変動する可能性がある。このような変化が起きると、予想される事象が影響を与える範囲が、理論モデルやシミュレーションなどによる分析で予測できなくなるため、レベル 3 の、可能性の範囲が見えている不確実性に該当し、具体的な異なるシナリオを記述することが出来なくなる。なお、現時点では、住宅市場における情報量の不足から、それらの要因となる出来事の発生確率が分からないため、本研究の LCC 評価モデルではまだ扱うことができないため、本議論の対象外とする。今後、住宅履歴情報を蓄積することにより、情報量が確保されることで、議論の対象となると考えられる。

レベル 4 の不確実要素：

戦争・地震・事故などの出来事は、いつ、どのような形で発生するのか、どの程度影響を及ぼすのか、まったく予測ができないため、本研究の議論対象外とする。

3-1-4 意思決定分析において不確実性の捉え方

社会学者 Beck⁹⁰により、テロ・地震・地球温暖化などの多様なリスクに囲まれている現代社会は「リスク社会」と命名されている。公共政策の立案から投資経営の策略まで、科学的評価が用いられているが、不確実なリスクがもたらす結果は、社会に重大な危害や、事業に大きな損失をもたらしかねない。このことは、リスクを回避するためには、意思決定の過程において、不確実性の解析を行うことが如何に重要かを示している。ある事象生起の不確実性を解析したい場合、一般の方法では、確率論や期待効用理論に基づいて、加

90 Ulrich Beck、Das Schweigen der Wörter、島村賢一(訳)、世界リスク社会論--テロ・戦争・自然破壊、2003

法性を満たす確率の概念で、不確実性を捉える⁹¹。

ここでは、確率論で不確実性を定量化した、震災とその対策における問題の一例をあげる⁶⁵：ある規模以上の地震 θ が発生することに対して、三つの震災対策 a1、a2、a3 が提供されると想定し、それぞれの震災対策の下での死亡人数を推測しようとする。ここでは、地震 θ の発生は三つの可能性(不確実性)があるため、意思決定者が採用した選択肢と、その選択肢によって生起する結果は、一対一に対応しているとは限らない。期待効用とその確率範囲においての推定ができるかどうかは、意思決定者がどれだけ不確実性を把握できるかで決まる。そのため、把握度の適正性に関する議論は保留し、震災と対策における意思決定問題においての選択肢、不確実性、結果との関係を、表 3-3 の関数で表現する：

$$f = A \times \theta \rightarrow X$$

A：選択肢の集合、 θ ：不確実性がある状態の集合、X：生起する結果の集合

表 3-3 選択肢と状態に応じた死亡人数の結果の例(出典：竹村ら、2004)

A	θ	$\theta 1$: M6 以上大地震	$\theta 2$: M6 未満地震	$\theta 3$: 地震なし
a1 : 対策 1		x1 : 100 人	x1 : 100 人	x1 : 0 人
a2 : 対策 2		x2 : 100 人	x2 : 50 人	x2 : 0 人
a3 : 対策 3		x3 : 50 人	x3 : 0 人	x3 : 0 人

生起する結果は、選択肢と不確実性がある状態に依存し、一定的確率(既知あるいは未知)で生じる。そのため、不確実性の確率分布が分かっているとすると、意思決定問題は解明でき、表 3-3 を表 3-4 に書き換えることができる。

表 3-4 リスク下における結果の集合 X 上の確率の例(出典：竹村ら、2004)

A	θ	x1 : 100 人死亡	x2 : 50 人死亡	x3 : 0 人死亡
a1 : 対策 1		p11 : 0.8	p12 : 0.0	p13 : 0.2
a2 : 対策 2		p21 : 0.3	p22 : 0.5	p23 : 0.3
a3 : 対策 3		p31 : 0.0	p32 : 0.3	p33 : 0.7
発生確率 p : M6 以上大地震=0.3、M6 未満地震=0.5、地震なし=0.2				

意思決定問題の構造を提示した竹村らは、さらに意思決定環境に応じた不確実性を四つに分類した：

91 竹村和久、吉川肇子、藤井聡、不確実性の分類とリスク評価、社会技術研究論文集、Vol.2、p12-20、2004

- 1). 確実性下の意思決定：選択肢を選んだことによる結果が確実に決まってくる状況
- 2). リスク下の意思決定：選択肢を採択したことによる結果が既知の確率で生じる状況
- 3). 曖昧性下の意思決定：曖昧性は「狭義の不確実性」にも対応している。どのような状態や結果が出現するかは分かっているが、出現確率が分からない。
- 4). 無知下の意思決定：状態の集合の要素や結果の集合の要素が既知でない場合になる。」

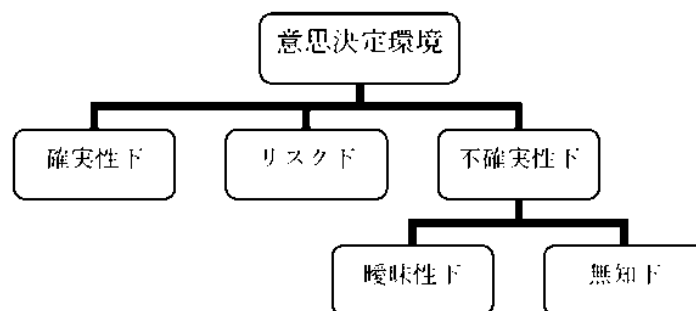


図 3-9 意思決定環境に応じた不確実性の分類(出典：竹村ら、2004)

竹村の研究では、事象に対する理解の程度により不確実性が分類されており、意思決定環境下の階層化構造に取り入れた。同様の構造化を、Mun は以下のように説明している。

一般の最適化モデルでは、将来の想定条件はシンプルであり、すべての入力データは定数となり、モデル自体は決定論的のものになる。

なお、現実では複雑である変動状況を考慮した Mun は、確率分布を使って入力データの不確実性を捉え、それを説明変数のひとつとして最適化モデルに取り入れた。その構造は下図 3-10 に提示する⁹²：

92 Johnathan C. Mun、川口有一郎(監修)、Real Option analysis リアル・オプションのすべて、2002

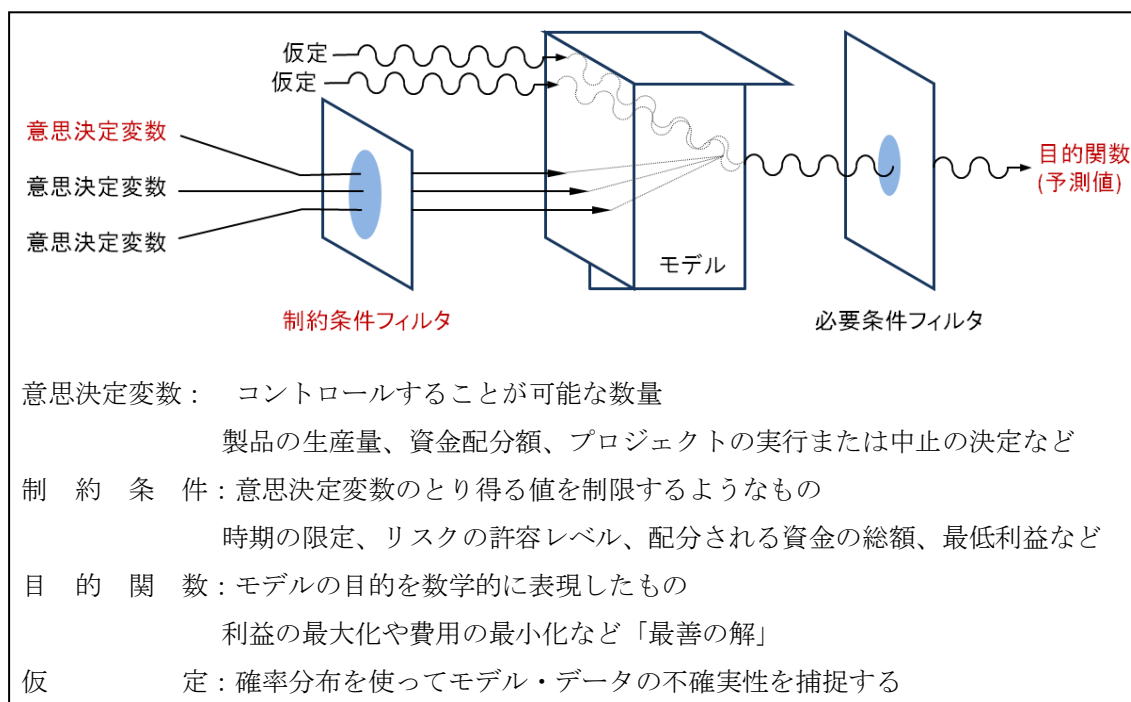


図 3-10 不確実性を伴う最適化モデル(出典：Mun、2002)

不確実性がパラメーター化した仮定条件として、計算モデルに組み込めることが把握された。この知見を基に、本研究は LCC 分析に存在する不確実性を確率論をもって扱うことにする。(4-2 節にて詳述)

これらの見解を考慮し、本研究における不確実性下の意思決定過程は、以下のように定義する：

「不確実性下の意思決定過程とは、特定の目標を達成するため、検討時における不確実性を考慮した想定条件下において、ある評価モデル、あるいはモデルを用い、選択可能な複数の代替案の中から、最善の解を選定することである」

3-2 意思決定を支援する手法

意思決定問題に直面する時、様々なサポートツールや評価モデルが使われる。例えば、対象問題の構造と要因の位置づけにおける関連性を視覚的に表示する方法として、「ISM法」(Interpretive Structural Modeling)や不確実要因と可能な決定を樹枝状に展開する「決定木」(Decision Tree)がある。また、多目的計画法の考え方で複数の評価尺度に関する最適化問題を分析する方法として「階層分析法」(Analytic Hierarchy Process)がある。更に、利害の異なる複数の意思決定者の決定が互いに影響し合う際における、合理的な行動選択を分析するゲーム理論 (Game Theory)がある。なお、戦略的投資や経営管理の実務上、投資を実行すべきか否かという意思決定問題を分析するのによく応用される手法をあげると、内部収益率法 (IRR)、正味現在価値法 (NPV)、リアルオプション (Real Option Analysis)などがあり、その中でも特に不動産・建物の投資に関する評価を行うのは収益還元法(Income Approach)、LCC(Life Cycle Costing)である。

問題が対象とするものの特性や、意思決定者の目的により、手法の適用範囲が異なるが、その基本的なコンセプトの応用は相互に参考できると考えられる。例えば、リアルオプションはよく決定木の方法を用いて、各段階における資産のオプション価値を表現する⁹³。現実では、住宅における購入・改修・改築などの意思決定問題には、予算の節約、生活の利便性と満足、好みの暮らしの実現など、多目的性が関与し、また、買い手、仲介、売り手という複数の関係者が存在するため、多数の評価尺度から意思決定問題を考慮しなければならない。しかし、本研究では、研究の第一歩として、コスト・マネジメントの観点から、コスト、投資効果、不確実性の関係のみに着目している。そのため、評価尺度もコストのみに単一化した。そして、多数の意思決定手法から、投資・経営管理によく使われる手法を抽出し、その適用範囲・優劣性を比較した上で、本研究の提案手法を検討することとした。

投資・経営管理によく使われる内部収益法や正味現在価値法などの伝統的な手法は、不確実性を外部要素として扱って省略することが多く、変動が激しい現実の状況に対応する柔軟性が十分ではないと指摘されている⁹⁴。そのため、近年、意思決定者は他の評価モデルや手法を求め、金融分野における「オプション理論」を、実物資産や不確実な企業環境に

93 Tom Copeland、Vladimir Antikarov 著、梶本克之監訳、リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定、p125-136、東洋経済新報社、2002

94 新井富雄、経営戦略とリアルオプション、知的資産創造、4月号、2001

応用した ROA(リアル・オプション分析)が注目され始めた。その発展の経緯は、図 3-11 のように W. Fawcett ら⁹⁵が提示している。DCF 法(Discount Cash Flow)法を用いた IRR、NPV、LCC は、「事業資産が過小評価されてしまう状況が多い」、「意思決定時点において決定が択一的である」、「静的評価」のように指摘されるが、ROA(リアル・オプション分析)は「不確実性を考慮し、将来の変化状況に適応・調整できる計画・提案を評価する手法」、「不確実性が解消されていくうちに途中修正ができる動的評価」であるとされている。その比較は、表 3-5 でまとめる。

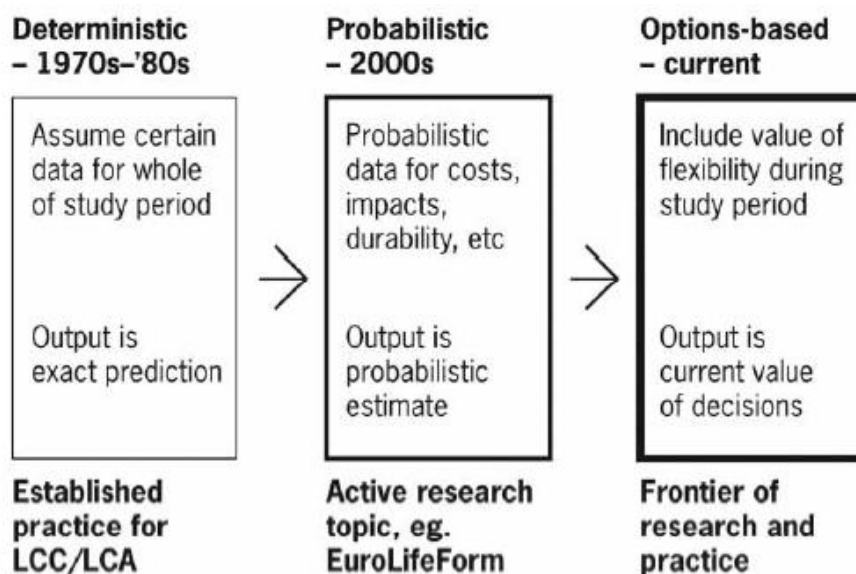


図 3-11 意思決定をサポートする手法の発展過程 (出典：W.Fawcett ら) 2012)

様々な意思決定支援手法の内、収益還元法は不動産の市場価値を求める手法であり、本研究の目的とは異なるため対象外とした。本研究の提案に関する参考手法として、建物の投資に関する評価を行う LCC 手法と、不確実性を考慮した動的評価手法であるリアル・オプション法、この二つを抽出した。これらに関しては、後節で詳述する。

95 William Fawcett, Martin Hughes, Hannes Krieg, Stefan Albrecht, Sustainable construction projects: case study of flexible strategies for long-term sustainability under uncertainty, Building Research & Information research paper, 2012

表 3-5 意思決定サポートとしての手法・理論における比較(本研究作成)

手法・理論	プロジェクト価値	不確実性への 配慮・予測	複数代替案	柔軟性	現在価値換算
Real Option Analysis	リスクにより 価値創造重視	動的評価 (時系列モデル)	相互排他性 なし	投資時点	DCF 法
リアル・オプション	評価を高める	予測範囲 (確率ベース)		投資時点調 整可能	割引率の ボラティリティ を考慮
				先送り可能	
Life Cycle Costing	コスト削減重視	時間経過と共に 変動要素		原計画によ り修正不可	
ライフサイクルコスト	代替案の費用対効果	静的評価	相互排他性	投資時点 調整不可	DCF 法
		局所的予測	択一的	投資不可逆	割引率一定設定
		更新周期、割引 率の設定			
IRR 法 or NPV 法	投資収益率(ROI)重視	静的評価	相互排他性	投資時点 調整不可	DCF 法
内部収益率法	過小評価が多い	局所的予測	択一的	投資不可逆	割引率一定設定
正味現在価値法		予想収支、 割引率の設定		計画 修正不可	
Income Approach	投資収益率(ROI)重視	静的評価	考慮なし	投資時点 調整不可	a. 還元利回り
収益還元法	過小評価が多い	局所的予測		投資不可逆	b. DCF 法
		予想収支、 割引率の設定			

3-3 LCC(ライフサイクルコスト)に関する既往研究の整理

3-3-1 ライフサイクルコストにおける定義と適用場面

LCC(ライフサイクルコスト) について、石塚は以下のように述べている。「生涯費用といいます。建築物の企画設計段階、建設段階、運能管理段階及び解体再利用段階の各段階のコストの総計として、資本利子と物価変動の影響を加味して、想定される使用年数全体の経済性を検討するために用います。」(石塚、2006)⁹⁶。ここでは、建築の企画、設計に始まり、解体処分するまでを建物の生涯と定義して、その全期間に要する費用のことを指している。LCC は、初期建設費であるイニシャルコストと、エネルギー費、保全費、改修、更新費などのランニングコストにより構成される。

Life Cycle Costing(ライフサイクルコストイング)は、建築物の生涯に必要な全てのコストを算出し、投資の代替案のLCC評価を行い、計画をする手法であり、「Whole life costing」ともよばれる。それに、効率と性能を、コストと共に考慮し、費用対効果を推し量ると Whole life appraisal(生涯評価)という用語になる。(Roger Flanagan ら、2005)⁹⁷

LCC 代替案の比較検討は、対象・用途・使用段階によって必要な項目を取り上げ、複数の代替案を作成し、その他の関連しない部分に関しては、一度算定した後に固定をして、関連する部分と合計して算定し比較する。代替案比較だけの場合、関連しない部分の算定を省略して、関連する部分のみの算定でも比較検討することができる。資本利子および物価変動による影響を考慮し、原価係数および資本回収係数等を使用して年等価格などを算定する。

算定は、「概算法」、「略算法」、「精算法」を使い分ける：⁹⁸

- 1.) 概算法：概略の仕様や図面もなく、まして詳細な仕様や図面もない企画段階では、全体LCC 代替案を概算法で検討する
- 2.) 略算法：概略の仕様と図面による検討上のものであり、詳細な仕様や図面がない基本設計段階では、個別LCC 代替案を略算法で検討する。
- 3.) 精算法：詳細な仕様や図面による検討上のものであり、実施設計段階もしくは運用管理

96 石塚義高、建築経済学とLCC、2006

97 Roger Flanagan and Carol Jewell、Whole Life Appraisal for construction、2005

98 建設大臣官房官庁営繕部監修、建築保全センター編集、建築物のライフサイクルコスト、p13-26、1993

計画段階では、個別 LCC 代替案を精算法で検討する。

各段階における LCC 利用が図 3-12 に示される：

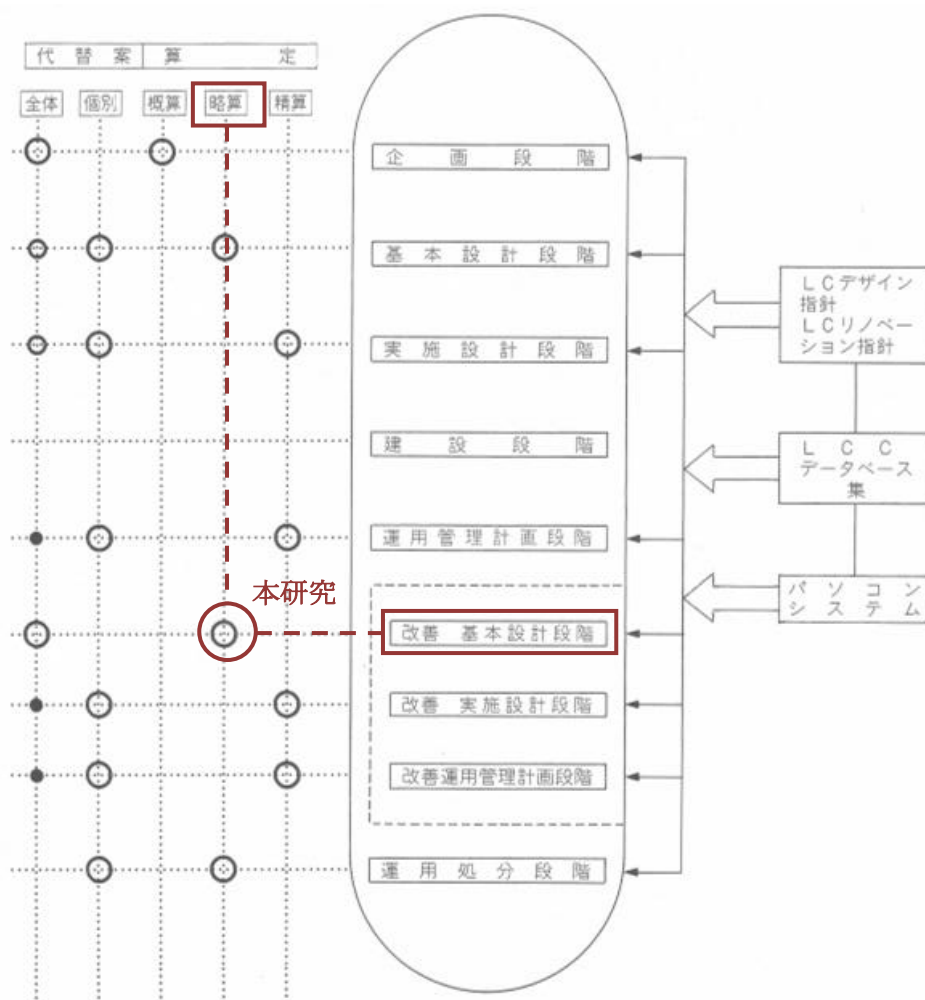


図 3-12 LCC 利用の各段階(出典：注 70、建築物のライフサイクルコスト、p15、1993)

本研究は既存住宅を対象とし、そこでの想定居住期間における改修代替案の費用対効果を比較するため、建築物のライフサイクルからみて「改善・基本設計段階」に属する。なお、現状では各社独自の構法、仕様があり、材料の性能や省エネ効果に関する情報が散在しており、LCC 精算に必要な詳細図面の取得は困難であると考えられるため、本研究は精算法ではなく、略算法を採用した。

3-3-2.LCC における計算とプロセス

本研究における LCC 計算は、図 3-13 のように大別した⁹⁹：

- 1.) 初期投資費用：土地、設計、建設費用を指す。
- 2.) ランニングコスト：清掃、エネルギー、照明、冷・暖房、換気、温水、保険、一般地方税、水道税、維持保全、運営・日常維持保全などを含む。これらは相互に直接的あるいは間接的関係がある。例えば、照明器具を頻繁に清掃することにより、明るさを保ち、照明費を低減できる。
- 3.) 処分費用：解体、処分費用を指す。
- 4.) 残存価値：土地、建物の残り価値を指す。

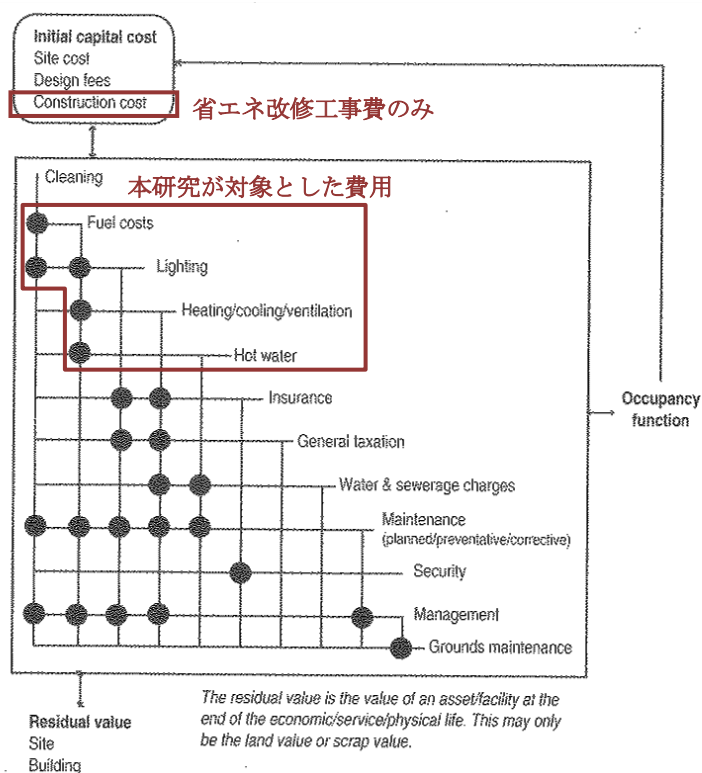


図 3-13 主要費用の相関関係(出典：R. Flanagan and C. Jewell、2005)

本研究は、想定居住期間における改修代替案の費用対効果を比較するため、投資の改修工事費と改修後のランニングコスト(光熱水道費)に関連する部分のみを算定した。なお、初期投資費(購入コストなど)・保険・維持保全・税金などのコストは、同一と見なされるため計算から省略した。残存価値は一般的に減価償却の概念で扱われており、市場価格にも

99 Roger Flanagan and Carol Jewell、Whole Life Appraisal for construction、2005、p27

かわり、その算定は不動産鑑定(取引事例比較法など)やヘドニックアプローチなどのモデルを用いて算定されるものである。本研究の LCC モデルでは、ランニングコストの計算のみ扱えるため、各代替案の残存価値を同一と仮定して、計算は対象外とした。しかし、各代替案がもたらす改修効果が異なり、残存価値に与える影響も異なるため、代替案投資に関する意思決定に対して、ランニングコストと残存価値を一緒に考慮した統合的な分析が必要であると考えられる。それは今後の課題とする。

初期投資コストとランニングコストを考慮した各代替案の LCC 比較イメージを、図 3-14 に参照する。¹⁰⁰ 図 A は過去の典型的なコスト検討モデルである。最大の初期投資コスト案では最小のランニングコストと最小のトータルコストが生じる。しかし、実際の状況は図 B に示すように、最小トータルコストが発生するのが、最大の初期投資コストの案ではない可能性がある。そのため、複数の条件で LCC を算定し、よりトータルコストのバランスが良い代替案を見つける必要がある。

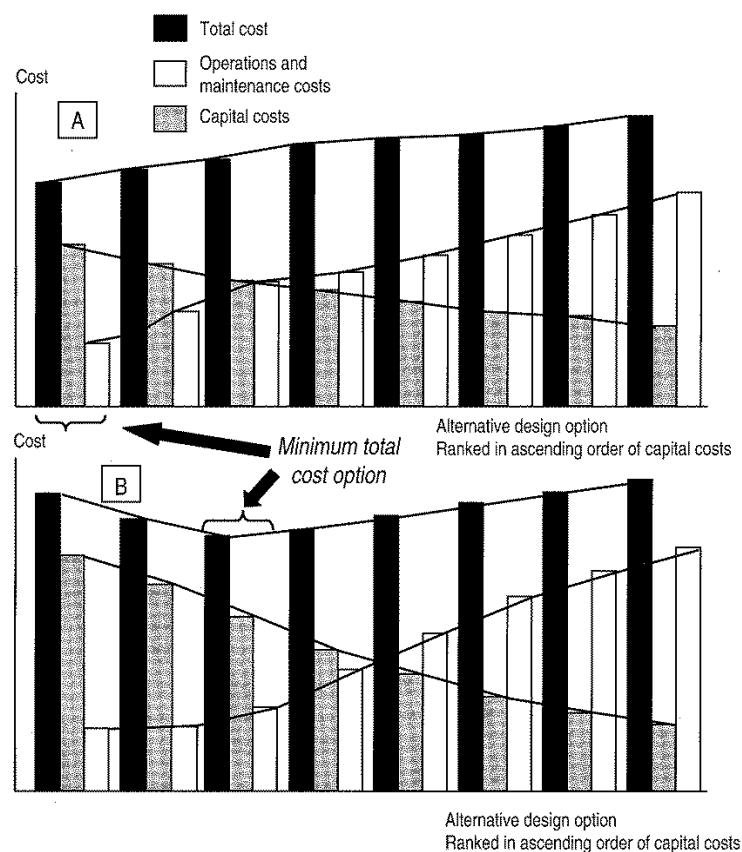


図 3-14 固定費用と変動費用のバランスの変化(出典 : R. Flanagan and C. Jewell, 2005)

100 Roger Flanagan and Carol Jewell, Whole Life Appraisal for construction, p28, 2005

インフレ、金利などの影響により、将来の価値は現在の価値とは等価ではない。各代替案の LCC 評価には、同一の時期に価値判断をすることが必要であるため、将来の価値を割引して現在価値に換算する必要がある。将来の価値と現在の価値との間にある交換レートは「割引率」と呼ばれ、割引した「金銭の時間的価値」が図 3-15 のように示される。¹⁰¹

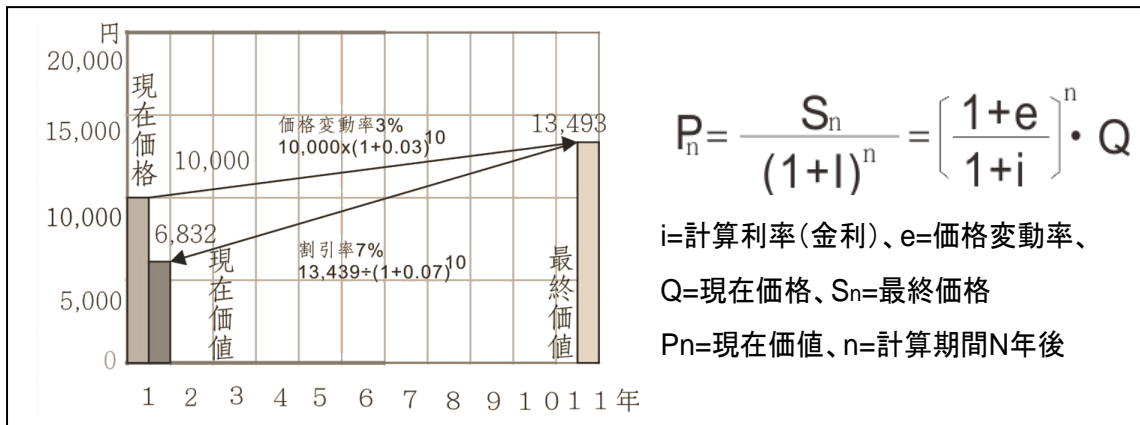


図 3-15 金銭の時間的価値(出典：BELCA、2005)

将来の価値を、現在価値に換算するために、エネルギー費・資材・労務費などの価格変動を考慮しなければならない。これらを考慮に入れた LCC の現在価値を比較することで、代替案の優劣比較が可能となる。表 3-6 は現在価値計算の一例を挙げた¹⁰²。しかし、現在価値と実際の金銭を混同してはいけないことに注意する必要がある。「*present value/ present costs should not be confused with real money; all future money is discounted by applying a discount rate selected specifically for the appraisal*」¹⁰³

建築ライフサイクルの各段階における LCC 応用イメージは前節で述べたが、実際に適用する際、検討のプロセスや計算の入力変数など、様々な事項に注意を払わなければならない。Kelly と Hunter が書いた RICS の研究報告¹⁰⁴より、LCC 評価の目的選定から、代替案の選択と検討、実際の LCC 計算までの一連のプロセス、及びそれらに関する注意事項を図 3-16 のように詳細に示す。その中で、特に本研究が扱う枠組みに関して、図中に重ね書きした。その詳細に関して、下記に示す。

101 公益社団法人ロングライフビル推進協会・BELCA、建物のライフサイクルと維持保全、2005

102 ロジャー・フラナガン、ジョージ・ノーマン著、建築・設備維持保全推進協議会訳、建物のライフサイクル計画、p77、1988

103 Roger Flanagan and Carol Jewell、Whole Life Appraisal for construction、2005

104 John Kelly、Kirsty Hunter、Life Cycle Costing of Sustainable Design、RICS research Report、2009

表 3-6 現在価値計算の事例(出典：建物のライフサイクル計画、p77、1988)

年	計画案のコスト*			現在価値 係数 @ 5 %	資金の現在価値		
	A	B	C		A	B	C
0	5000	5600	6800	1.000	5000.00	5600.00	6800.00
1	500	300	200	0.952	476.00	285.60	190.40
2	500	350	200	0.907	453.50	317.45	181.40
3	700	550	300	0.864	604.80	475.20	259.20
4	900	750	400	0.823	740.70	617.25	329.20
5	1200	1000	600	0.784	940.80	784.00	470.40
6		1200	800	0.746		895.20	596.80
7			1000	0.711			711.00
8			1200	0.677			812.40
合計現在価値 (PV)					8215.80	8974.70	10350.80
年価の現在価値 (PVA)					4.329	5.076	6.463
年間均等価値 (AE = PV/PVA)					1897.85	1768.07	1601.55

*実質課税額

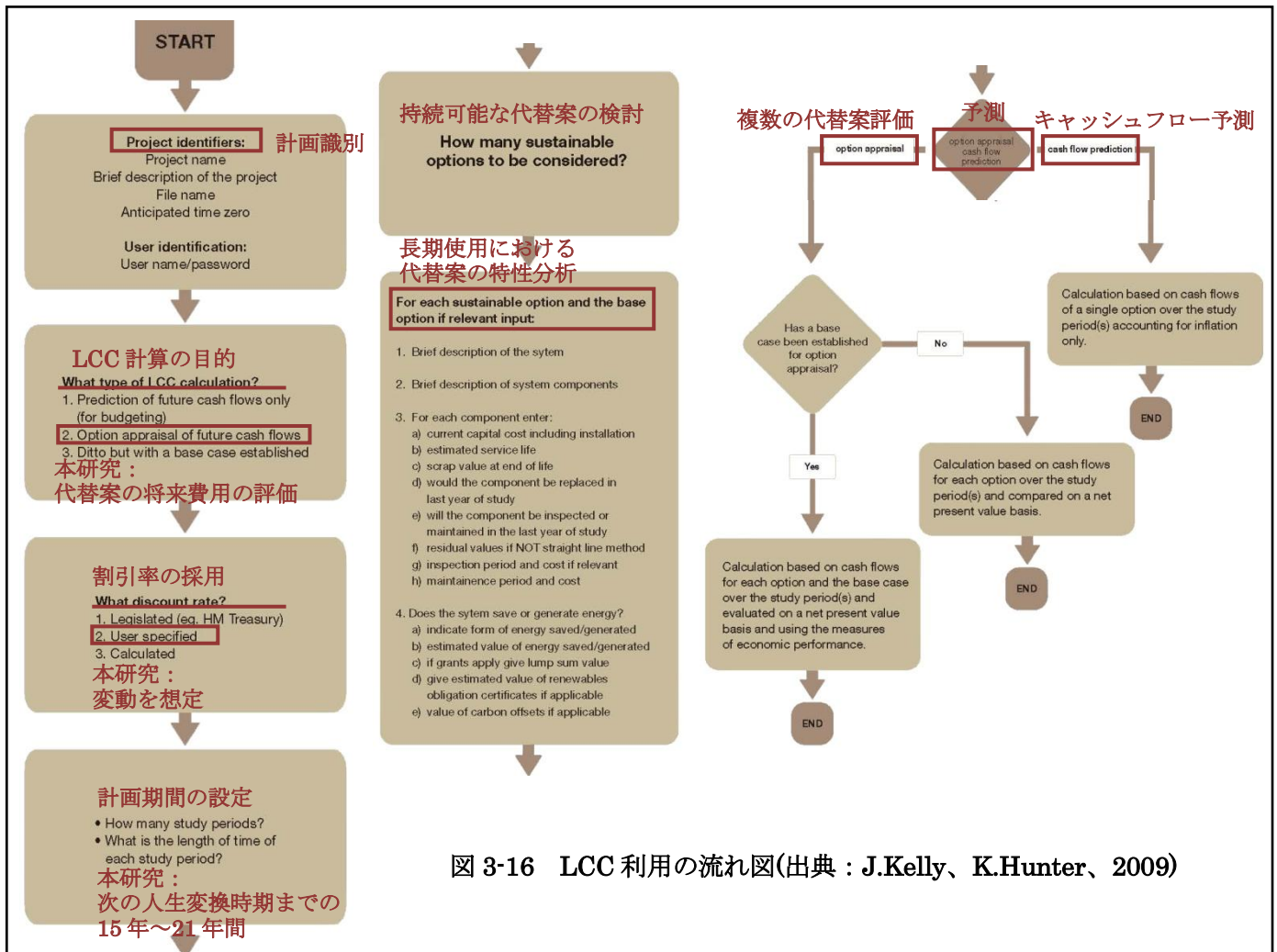


図 3-16 LCC 利用の流れ図(出典：J.Kelly、K.Hunter、2009)

Kelly らが提示したように、代替案の優劣比較と LCC 計算する前に明確にして置かなければならないことが三つあり、その中で、本研究の扱う設定を記述する：

1.)LCC 評価の目的

- a. 予算を組むためのキャッシュフロー(Cash Flow)予測
- b. 代替案の将来キャッシュフローの評価・比較 (⇒本研究の目的)
- c. 基礎となる計画や参考ケースがある上での代替案の将来キャッシュフローの評価・比較

2.)割引率(Discount Rate)の設定

- a. 国債金利などの公定割引率
- b. ユーザーに指定された割引率 (⇒本研究は割引率が時間経過とともに変動すると想定)
- c. 計算で得た割引率

3.)LCC 計算期間と修繕・改修周期の設定

LCC 計算期間にわたる修繕・改修周期の設定については、各既往研究の目的によりそれぞれ異なる。LCC 計算期間が長いケースは 100 年、180 年で、短いものでは 20 年のケースもある。各研究の結果により、計算期間の設定が長いほど、投資の費用対効果大きいという傾向が見られる。しかし、Hunter ら¹⁰⁵は、「*To ensure the final output could not be interfered with programming the tool up to a maximum of 30 years because anything beyond this would not be feasible in WLC (whole life costing) terms*」と述べており、LCC 計算期間の設定は 30 年以下が適当だと主張している。

住宅の構造に関する物理的耐用年数で考えた 30 年は、住生活にとっては比較的長い期間であると考えられる。現実では、30 年以上継続して同じ住宅に住むこととは限らず、転職や世帯構成の変化などの原因で 30 年の間に住み替えをしたり、家を大規模改修したり、全面改築したりすることが少なくない¹⁰⁶。特にライフステージの転換周期を迎える際に、居住ニーズの変化とともに改修・改築・住み替えを実施する可能性が高くなると考えられる。LCC 評価モデルでの計算はできるものの、30 年以上の長期的居住計画では、その居住ニーズの変化に対応・調整する柔軟性が欠ける恐れがあると考えられるため、本研究では、ライフステージの転換周期を基準として、計算期間の設定を検討した。

105 Kirsty Hunter, John Kelly, The Development of a whole life costing tool for local Government in the UK, QUT Research Week, 2005

106 株式会社リクルート住まいカンパニー：「2012 年首都圏新築マンション契約者動向調査」、2013

実際はユーザーの状況によりケース・バイ・ケースで検討する必要があるが、一般のライフステージの転換周期は表 3-7 が示したパターンに近いと考えられる。本研究ではその周期を考慮し、計算の便宜で 3 年間隔を設定した上で、検討計算期間を 15～21 年に定めた。これらは、居住ニーズが変化することと、住宅の改修周期が一致すると仮定した上で設定されている。

表 3-7 ライスステージの転換周期とコスト変化の関係(本研究作成)

経過時間	15 ～ 20 年 →		15 ～ 20 年 →		15 ～ 20 年 →	
	青年期		壮年期		老年期	
親世帯	30(±5)歳	結婚 育児	50(±5)歳		70(±5)歳	退職
	幼児期・学齢期		青年期前半		壮年期前半	
子世帯	0(+5)歳	出産 成長	20(±5)歳	独立	40(±5)歳	育児
居住ニーズ変化	育児空間ニーズ		レイアウトの変化		高齢者配慮ニーズ	
世帯人数変化	増加		減少(子世帯独立) 不変(子世帯同居)		不変(子世帯独立) 増加(三世帯同居)	
生活コスト変化	光熱費増加		光熱費減少 or 不変		光熱費不変 or 増加	
維持コスト変化	改修コスト増加		不変 or 増加		改修コスト増加	

修繕・改修周期の設定については、前述(3-1-3 節)したように、現在の LCC 評価や建物マネジメントによく用いられる概念は、1980 年代に小原が提唱した「構法的序列と改修周期の整合性」¹⁰⁷である(図 3-4)。この概念では、計画期間において必要な修繕・改修工事の周期を、2ndメンテナンスサイクルの方法を利用し、周期が近い項目ごとに整合させるため、より経済的な維持管理計画が立てられるというものである。それに、同等品交換(like-for-like)¹⁰⁸の概念を用い、部材・設備の修繕・交換周期を単一パターンで設定することも一般的である。しかし、「区間残存率推計法」を用いて各部位の修繕・交換周期を推定した小松ら¹⁰⁹の研究により(表 3-2)、その交換周期が単一パターンではなく、また、交換時点にもバラツキがあることが分かった。

居住ニーズが変化する際、改修を検討する可能性があると考えられるため、本研究では、住宅の改修周期は本研究が目的とする LCC 計算期間と同じであると想定する。そして、部

107 小原誠、長生き建築の仕組み-ライフサイクル計画論、p164~p189、2005

108 Ian Ellingham、William Fawcett : New Generation whole-life costing、p38、2006

109 小松幸夫、遠藤和義、戸建住宅のライフサイクルコストの推計、日本建築学会計画系論文集 (534)、241-246、2000-08-30

品や設備などの修繕・交換周期には不確実性が存在するため、その不確実性を LCC 評価に組み込む必要があるとした。

3-3-3.建築分野における LCC 研究

LCC は意思決定分析に重要な手法のひとつであるが、過度の単純した想定条件、信頼性があるデータの欠如、意思決定者のリスク負担能力や外部の不確実要素を無視することなどの原因に拘束されるため、実務上の有用性が局限されていると指摘された¹¹⁰。その知見を踏まえ、ここからは、建築分野における LCC 研究を考察し、それらの評価手法がもたらす、意思決定プロセスにおける問題点を把握する：

住宅の修繕や更新費用について、その LCC 評価上における算出根拠を把握しようとした梅田らは¹¹¹、計算用のデータベースを作成して、構造の異なる戸建て住宅の LCC 比較を行った。この研究では、構造別で木造構造 35 年・準耐火構造 60 年・耐火構造 100 年、三つの戸建住宅を対象としている。構造特有の部位を除き、建築や設備の仕様を同程度に想定した対象住宅における修繕と更新費用を項目別に算出した。ランニングコストの構成に関しては、平均的な生活を想定し、家計調査年報のデータを用いて、居住期間の税金、光熱費、管理費などを累計して加算している。これらの根拠より、構造に関するトータルコストを比較した。

この研究から、LCC 計算には修繕・更新費用等のデータベースを作ることが重要であることが分かった。また、建替えのない 35 年のトータルコストの内訳として、イニシャルコストが約 4 割、ランニングコストが約 6 割であり、そして、修繕と更新の費用は、ランニングコスト全体の半分程度であることが把握された(表 3-8)。なお、この研究では家計調査年報のデータを用いてランニングコストを算出したが、異なる世帯構成がもたらす影響は考慮されていなかった。

表 3-8 ランニングコスト累計構成(築 35 年、建替えなし)

	イニシャルコスト	一般管理費	運用費	修繕・更新費	解体処分費	合計
木造 35 年	46.1	11.7	18.1	24.1	0	100%
準耐火 60 年	29.0	10.3	19.6	41.2	0	100%
耐火 100 年	22.1	9.6	23.4	42.5	2.4	100%

110 Pernilla Gluch、Henrikke Baumann、The life cycle costing(LCC) approach:a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making、Building and Environment(39)、p571-580、2004

111 梅田和彦、橋口裕文、坪田正平、石井映二、戸建て住宅のライフサイクルコスト評価の試み、学術講演梗概集、p947-948、2000

住宅部品の修繕・更新に関しては、そのコストと同時に、いつ交換するかという、交換周期の決定が、LCC 評価に影響を与える。Grussing らの研究¹¹²では、部品・部材の交換周期の設定がLCC 評価にどのような影響を与えるのか言及した。この研究では数値0から100に分けた指標 CI(condition index)でサッシの性能を評価し、修繕・交換時点が「CI=90 になる時に行う」、「CI=85 になる時に」... 「CI=40 になる時に行う」という計画を立てることで、LCC の比較を行った。この計画は、意思決定者の心理的な要求機能と物理的な要求機能、両方を考慮して立てられたものである。そして、各計画の SIR(Saving-to-Investment Ration)表現を図 3-15 のようにまとめた。さらに、オフィスを対象として二つの修繕・交換周期を想定し、それぞれの SIR を比較した。(図 3-17)

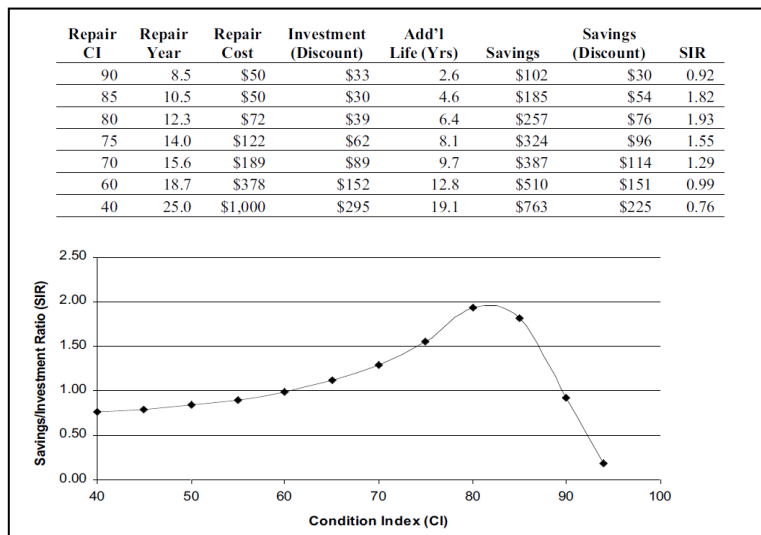


図 3-17 異なる修繕周期計画による投資対費用効果-サッシ (出典:Grussing ら、2007)

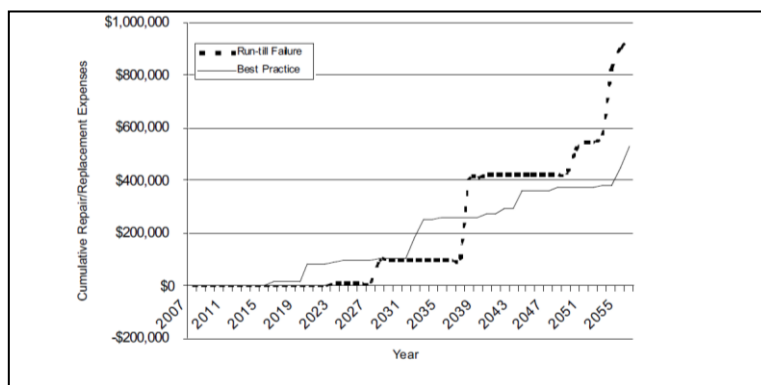


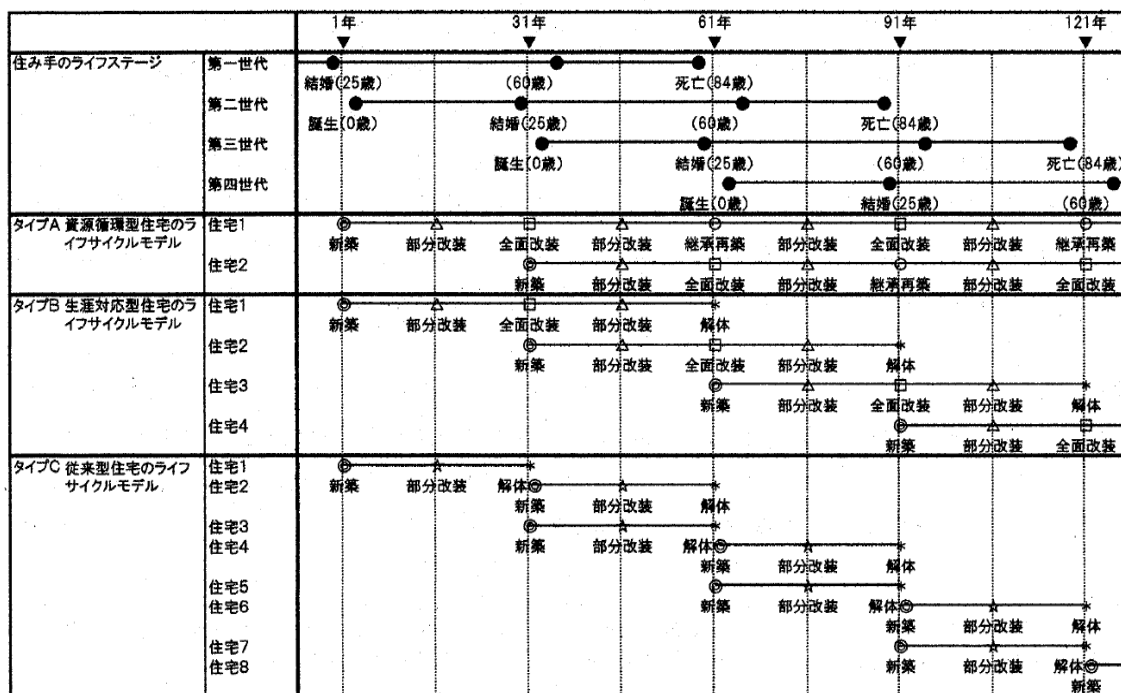
図 3-18 異なる修繕周期計画による投資対費用効果-オフィス (出典:Grussing ら、2007)

112 M.N.Grussing、L.R.Marrano、Building Component Lifecycle Repair/Replacement Model for Institutional Facility Management、2007

この研究により、修繕と交換周期の設定次第で、LCC 計算結果に大きな差異があることが分かった。しかし、この研究では、性能劣化の曲線が単一パターンで想定されていたため、メンテナンスなどの外的要因次第で、劣化の速さが異なり、交換時点も変わるという不確実性が反映されていないことが把握された。

一般的な LCC 研究では、主に住宅と各部位の物理寿命に着目し、適切な修繕・改修周期を検討するが、LCC の観点からは、利子率の変動に影響を受けると考えられる、長期使用住宅に対する経済的評価が行われることは少なく、また住まい手のライフステージ転換・多世代居住などの視点もない。これに対し、嘉納ら¹¹³は、長期使用に対応する「資源循環型住宅(戸建と集合)」の仕様とコスト構成を検討し、モデルを設定して、従来型住宅との LCC 現在価値を比較し、優位性の有無を確かめた。具体的には、住み手のライフステージの変化に合わせて、改装、建替えなどの周期を 15 年の間隔で設定して(表 3-9)、実質利子率を 1%から 10%まで変化させることによる LCC 算出結果を比較した。この研究により、割引率(この研究では名目利子率)の設定が LCC 算出に大きな影響を与えることが分かった。なお、60 年以上計算期間を設定することと、長い間に割引率がずっと固定値として設定されることは、現実の状況と乖離する恐れがあると考えられるため、より現実味のある計算期間の設定、そして割引率の変動を考慮する必要があると考えられる。

表 3-9 住み手のライフステージを考慮した住宅の改装・建替えモデル(出典：嘉納ら、2002)



113 嘉納成男、五十嵐健、資源循環型社会に向けた住宅生産システムの経済性評価に関する基礎的研究、日本建築学会計画系論文集、555、p279-286、2002

一般の LCC 分析には、将来の状況変化という不確実性が外部要素として扱われるため、実際の運営段階において、予想外のコストが把握できない。Mohamed ら¹¹⁴は、不確実な外部要素を、主に：functional changes、technological changes、と regulatory changes に分けて、七つの建物における過去のデータを用い、一般の LCC には考慮されていなかった、不確実な外部要素の影響により生じたコストを把握・分析した(表 3-10)。そして、メンテナンス費用と、ライフサイクルの進化に必要な更新・改修費用を用いることで、従来の LCC 計算式(式 3-1)から、新しい LCC 計算式(式 3-2)に書き直した。この研究の例では、不確実な外部要素を考慮しなかった、毎年平均支出は€66.27/m² であるが、新しい式で計算した結果は€71/m² となった。

表 3-10 更新・改修履歴と費用 (出典：Mohamed ら、2009)

Works	Cost(€)	Year	Causes	Consequences
Lifts	133 174.83	1997	Functional change	Adding a second door in every floor
Heating repairs	64 239.87	1997	Maintenance	Replacement of two boilers
Masonry	46 787.93	1997	Technological change	Renewal of the building's external doors
Exposure replacement	30 529.28	1994	Maintenance	Protection of post-fabricated elements
Watertightness	26 154.20	2004	Maintenance	Improvement of isolation conditions
Television	19 817.39	1997	Functional change	Installation of aerial/cable system
Works control	15 167.92	1996	Others	-
Lighting of stairs	13 768.94	2003	Legislative change	Installing emergency lightening
Cutting gaps in concrete walls	11 582.78	2003	Functional change	Opening a second door in each floor
Lifts	12 570.00	2008	Conformity control, 2008	-
Exposure	100 000.00	2009	Replacement of main parts of balconies	-

$$LCC = C_{int.} + C_{exp.} \pm V_R \quad \dots\dots\text{式 3-1}$$

$$LCC = C_{int.} + C_{exp.} + \sum C_{fac.} \pm V_R \quad \dots\dots\text{式 3-2}$$

$C_{int.}$: 初期費用(建設費用)

$C_{exp.}$: 運営・維持費用

V_R : 残存価値

$\sum C_{fac.}$: 不確実性の要素による追加コスト(機能変更・技術向上・規則改正を含む)

この研究により、将来の変化状況を考慮しなかった従来の LCC 計算方法(式 3-1)が、不確実性の影響を反映できないことが分かった。如何に不確実性の影響をパラメーター化し、計算式に組み込むことが重要であると考えられる。

114 Mohamed Arja, Gerard Sauce and Bernard Souyri, External uncertainty factors and LCC : a case study, Building Research & Information, 37(3), p325-334, 2009

これらの研究により、現在の住宅に関する LCC 評価に関して以下のことが分かった：

- 1)実質利子率と物価変動率などの説明変数を固定値で設定されることが多く、不確実性を考慮し得ていないことが把握された。
- 2)将来の変動による影響を考慮されていないことが多く、ライフステージ変化とともに変わる居住ニーズの要因、あるいは、修繕・交換周期の要因を考慮出来ていないことが把握された。
- 3) 50 年以上の検討期間を設定することが多いが、これは、現実の住宅の住まれ方、投資のされ方と乖離があることが懸念される。

3-3-4 まとめ

「正しいライフサイクルを定めるための定形的な手法はない」¹¹⁵と言われるが、前述の文献により、LCC 手法を利用する際における共通の注意点と特徴がまとめられる。

- 1.)LCC 評価の目的を明確にしなければならない
- 2.)対象となる住宅の計画使用年数と開始時点は明確に定義しなければならない。LCC 計算期間の設定は 30 年以下が適当だと考えられる。そして改修・修繕周期の設定は LCC 算出結果に影響を与えるため、考慮しなければならない。
- 3.)将来の価値は現在の価値と同じではなく、将来の価値を割引して現在の価値に換算しなければならない。また現在価値は、価格変動を考慮しなければならない。そして割引率の選定は LCC 算出結果に顕著な影響を与えるため、慎重に設定することが必要である。
- 4.)修繕・更新・運営費用など、LCC 計算に使われるデータの選定は重要である。ランニングコストの見積りは将来の仮定の上に成り立っており、ユーザーの状況によりバラツキが大きいので、これらの仮定は、はっきりと明示されなければならない。

本研究は上記にまとめた既往知見に対して、提案する LCC 評価手法を以下のように考慮する：

- 1.)本研究は、コスト・マネジメントの観点からみる、住宅の改修・改築における投資効用を分析するため、LCC 分析手法を評価モデルとして選定した。なお、既往研究の知見により、今までの LCC 分析手法は、将来の変動による影響を考慮していないことが多いため、

115 ロジャー・フラナガン、ジョージ・ノーマン著、建築・設備維持保全推進協議会訳、建物のライフサイクル計画、p13、1988

その不確実な変動に対応する、より柔軟性のある分析を行う LCC 分析手法が求められる。従って、本研究は、「住宅 LCC 計算にかかわる不確実性を考慮した LCC 評価モデルを提案すること」を目的とする。

2.) 30 年以上 LCC 計算では、計算期間における予想外のライフステージの変化・居住ニーズに対応・調整できない、長期的予測結果が適用できなくなると言った恐れがあると考えられるため、本研究では、ライフステージの転換周期を基準として、計算期間の設定を検討する。

3.) 一般の LCC 手法では、同等品交換(like-for-like)の概念を用い、部材・設備の修繕・交換周期を単一パターンで設定することが多いが、実際その交換周期は単一パターンではなく、交換時点にもバラツキがある。それは LCC 計算結果に影響を与えるため、本研究では交換時点が変動するという不確実性を、LCC 評価モデルに組み込むことにする

4.) 光熱費など、入力変数とした LCC 計算に使われるデータと、予想居住期間など設定された想定条件は、実際はユーザーの世帯構成やライフステージによりケース・バイ・ケースで検討する必要があると考えられるが、本研究では、公表されている統計データを用い、世帯とライフステージを想定した上で LCC 評価を行う。

3-4 ROA（リアル・オプション分析）に関する既往研究の整理

前節では、住宅の改修や設備機器の更新等の意思決定について、コストマネジメントの観点から、計画期間内の投資対効果を評価する LCC 評価手法に関して、その既往研究をまとめた。そこでは、住まい手に有用な意思決定プロセスを形成するには、将来の状況変動への考慮が不足すると考えられるため、そのことを補完することを目的に、状況に対応する柔軟性を考慮し得る、ROA（リアルオプション分析）について本節でまとめ、その応用性を把握する。

3-4-1.意思決定支援手法としての ROA(リアル・オプション分析)の特徴

投資意思決定および企業価値評価の領域においては、将来のフリー・キャッシュフローの現在価値を計算するための評価手法の選択が非常に重要である。各種の評価手法の中でも、ROA(リアル・オプション分析)は不確実性を考慮し、将来の変化状況に適応・調整できる計画・提案(オプション)を評価する手法である。

なお、事業資産評価と経営戦略に関する意思決定を行う際には、他にも様々な評価モデルがある。とりわけ、割引キャッシュフロー法である、NPV(正味現在価値)、IRR(内部収益率)などの意思決定指標を利用する海外企業が多く、日本企業でも多く利用されている。¹¹⁶

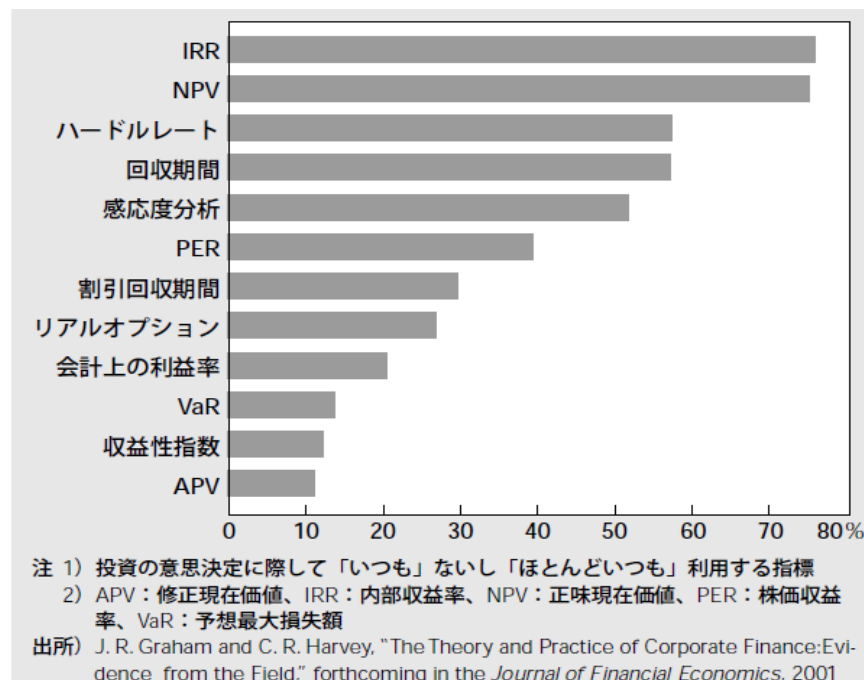


図 3-19 米国企業の投資における意思決定指標のサーベイ調査(出典：新井、2001)

116 新井富雄、経営戦略とリアルオプション、知的資産創造、4月号、2001

しかしながら、これらの一連の割引キャッシュフロー法には、将来の不確実性や経営環境の変化に対応するための柔軟性が十分ではないと指摘されている。こういった背景の下、金融分野における「オプション理論」を、実物資産や不確実な企業環境に応用した ROA(リアル・オプション分析)が注目され始めた。

NPV(正味現在価値)などの DCF(割引キャッシュフロー)法と ROA(リアル・オプション分析)との根本的な差異は、DCF 法がキャッシュフローを計算する前に、将来の変化状況の想定範囲が明確に定まっている一方、ROA は現実の状況に応じてキャッシュフローを計算するという点である。すなわち将来の変化状況の想定範囲を限定する投資時点の柔軟性と、選択の相互排他性の有無が相違点である。ここで行動選択の相互排他性に関して、Copeland¹¹⁷は「NPV では将来の一連の行動を相互に排他的なものとしてとらえざるを得ない多くの場合でも、ROA ではそれらの行動を一つの価値にまとめて、統一された決定ルールで行動を選択できる」と指摘している。上野¹¹⁸は、さらにより細かく、以下のように両者の特性と差異を把握している。

NPV などの DCF 法：

- 1.意思決定時点において投資可否の決定が択一的である
- 2.事業資産は過小評価されてしまう状況が多い
- 3.長期予測でも、加重平均資本コスト(WACC)の割引率が一定に設定されている
- 4.最終結果の妥当性のテストが不十分である

ROA

- 1.金融分野における「オプション理論」を、実物資産を評価するために、動的で不確実な企業環境に応用しようとするもの
- 2.時間の経過につれ、当初の不確実性が解消されていくうちに、経営者は、当初の下した決定の変更やその「途中修正」することが出来る
- 3.意思決定問題を一つの「デジジョンツリー」で捉えるため、複数の代替案が相互排他的ではなく、時系列上に意思決定すべき選択肢が明示される

伝統的なアプローチが静的な意思決定だけを仮定することに対して、リアルオプションは、将来に向けて複数の決定を動的に下すことができるものと仮定する。これにより、経

117 Tom Copeland、Vladimir Antikarov 著、栃本克之監訳、リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定、p125-136、東洋経済新報社、2002

118 上野清貴、リアル・オプション会計と不確実性、経営と経済、85(1/2)、p1-32、2005

営陣は、ビジネス環境の変化に対応する柔軟性を得ることになる¹¹⁹。すなわち、時間の経過とともに不確実性が解消されたり、新情報が得られることにより途中修正が可能となる ROA には、リスクが軽減される可能性があり、事業の収益評価を高められることが望める。(図 3-20)

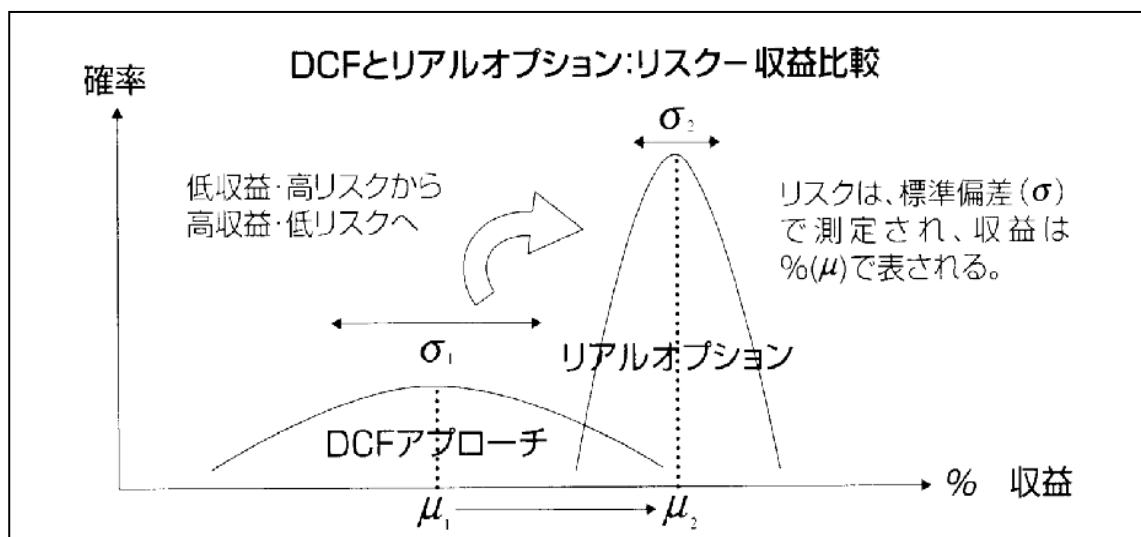


図 3-20 DCF と ROA のリスクー収益比較(出典 : J.C. Mun、p135、2002)

このような ROA の概念を、住宅改修における意思決定に対し応用できるかどうかについては、計算手法への更なる理解と事例を通じて、さらに考察する必要があると考えられる。

3-4-2. ROA のプロセスと計算方法

◆ ROA のプロセス

Copeland ら¹²⁰によれば、ROA には、大まかに四つの段階がある。(図 3-21)

第一段階：一般の手法によるプロジェクトの NPV 分析。このフレキシビリティを考慮しない分析結果は、後に ROA 結果と比較されるための基準となる。

119 Johnathan C. Mun、川口有一郎(監修)、Real Option analysis リアル・オプションのすべて、2002

120 Tom Copeland、Vladimir Antikarov 著、栃本克之監訳、リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定、p125-136、東洋経済新報社、2002

* 金融工学におけるボラティリティ(volatility)は、広義には資産価格の変動の激しさを表すパラメーターである

第二段階：プロジェクトのボラティリティ*を決定づける複数の不確実性をひとつに集約し、それに基づくイベント・ツリーの構築。特に主流の ROA モデルでは、再結合二項格子でイベント・ツリーを作成することが多い。

第三段階：プロジェクトのオプション価値の推計、および可能性がある意思決定のイベント・ツリーのノードへの適用、デシジョン・ツリーの作成。このデシジョン・ツリーは、リスクのある原資産が、時系列的に持ちうる価値の集合をモデル化したものである。

第四段階：ポートフォリオ複製アプローチ、またはリスク中立確率アプローチのいずれかを用いた、デシジョン・ツリーのペイオフ評価を行う。

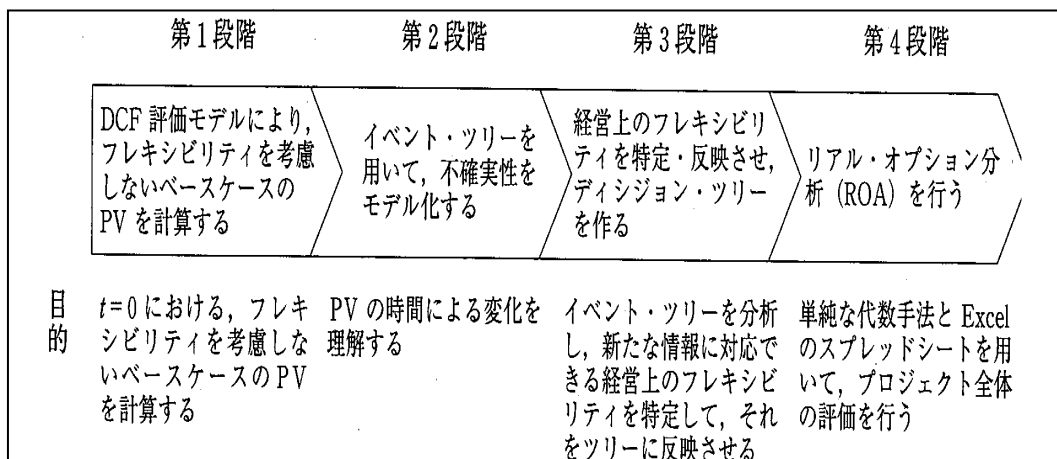


図 3-21 4 段階プロセス--ROA アプローチの全体像(出典：Copeland、2002)

◆原資産の確率過程のモデル化手法--イベント・ツリーの作成

資産の価値は、不確実性の影響で時間の経過共にと変化していく。将来のある時点に関する現在価値の期待値と発生確率を算出するのに、よく用いられる解析方法は二項分布アプローチである。この手法では、例えば原資産を価値 $V_0=100$ で格子の始点としてスタートし、上昇率ボラティリティ $=u=1.1$ 、下落率 $=d=1/u=0.909$ (通常は $d=1/u$ と仮定する)、確率 $p=0.5$ 、確率 $q=1-0.5$ と設定すると、資産価値の増減は図 3-22 のように展開する。この例は、実務上でよく採用される乗法確率過程であるが、場合によって加法過程も使われる。

このような二項分布アプローチにはいくつかの特徴がある：

- 1.)例にあげた二項格子の形は「再結合型ツリー」と呼ばれる。つまり、枝分れをしても同じポイントに戻り、そして、奇数時点においては、各価値の幾何平均は原資産の価値 $V_0(100)$

となり、偶数時点においての中間値もちょうど $V_0(100)$ となる¹²¹。

2.) 不確実性が高くなれば、ボラティリティーが大きくなり、格子(上下変動の幅)は広がる。ボラティリティーが 0% の場合は、従来の DCF 法の計算結果と合致する¹²²。DCF 法の計算結果と合致する現象は、将来の不確実性を考慮していない表現とも言える。

3.) 例示した二項分布アプローチでは、満期までの期間を 4 ステップに分けた。格子の中の期間(ステップ)の数が多ければ多いほど、格子の粒度と精度も高くなる、すなわち計算結果がより正確となると考えられる¹²²。

4.) 確率分布のシミュレーションは、ボラティリティーを固定した上で、幾何ブラウン運動を使って経路を生成しており、連続的な確率過程になる。それに対して、計算期間(ステップ)数を有限個に分割している二項分布アプローチは、離散型確率分布と呼ばれ、確率分布シミュレーションの一つである¹²²。

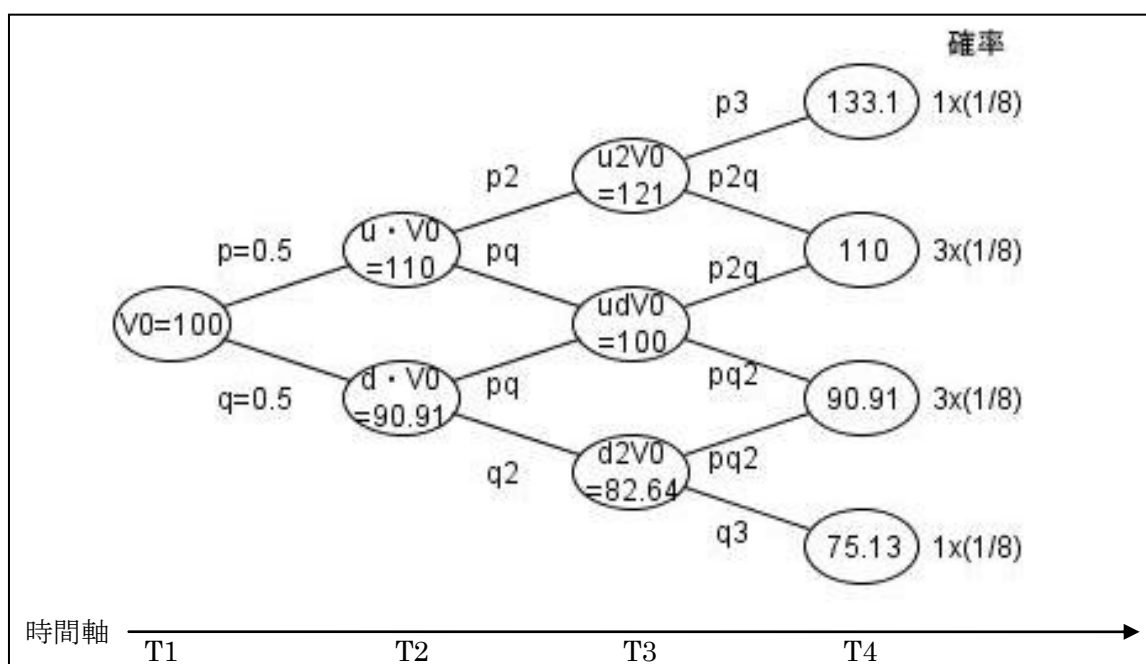


図 3-22 資産価値の乗法確率過程(出典 : Copeland ら、第五章、2002)

121 Tom Copeland、Vladimir Antikarov 著、栃本克之監訳、リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定、p126、東洋経済新報社、2002

122 Johnathan C. Mun、川口有一郎(監修)、Real Option analysis リアル・オプションのすべて、p214-230、2002

◆オプション価値のデシジョン・ツリーの作成

上述の原資産の確率過程をモデル化したイベント・ツリーに基づいて、各種の意思決定(オプション)による各時点(ノード)でのオプション価値を算出することで、デシジョン・ツリーの作成が可能となる。各種の意思決定(オプション)は、場合によって拡大オプション・継続オプション・縮小オプション・中止オプション・複合オプションなどがある。図 3-23、図 3-24 では中止オプションを例として、オプション価値の計算方法とデシジョン・ツリーの概略が説明されている¹²³。ここでは、デシジョン・ツリー作成に関わるプロセスを確認するため、Copeland、他(2002)による記述を、一部転載する。

「仮定」

原資産の現在価値 : 1000

上昇率 $u=1.06184$

下落率 $=1/u=d=0.94176$

中止の残存価値 : 900

これで算出した原資産価値のイベント・ツリーは図 3-23 となる。

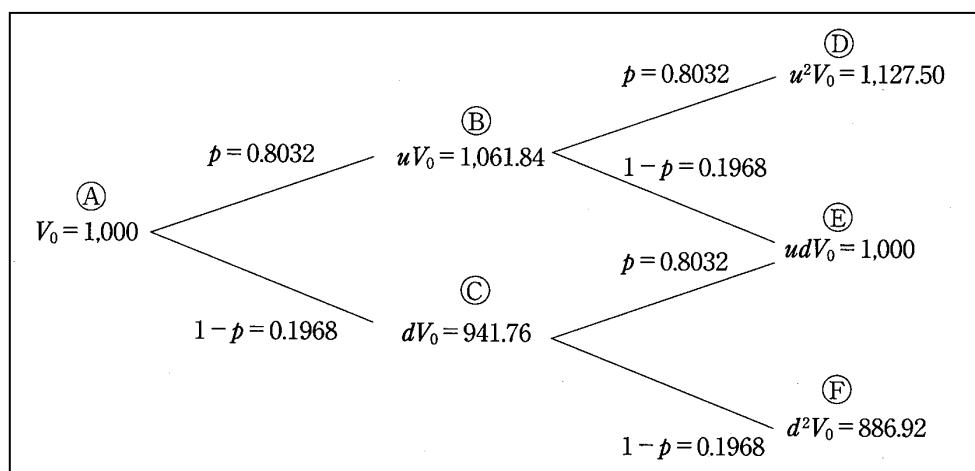


図 3-23 原資産価値のイベント・ツリー(出典 : Copeland ら、2002)

ここに、中止することができるオプションを加えて、プロジェクトの価値を算出する。これまでの分析同様、デシジョン・ツリーの端末にあるノードの最適ペイオフ*の位置から始めて、ツリーをさかのぼっていくことで問題を解く。

123 Tom Copeland、Vladimir Antikarov 著、栃本克之監訳、リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定、p130-139、東洋経済新報社、2002

* 金融工学におけるペイオフ(pay off)は、金融派生商品の清算時の損益である

各ノード(時点)では中止するか継続するかという決定は以下のルールで決まる。ペイオフは、原資産の価値の最大値(継続オプション)と、900(中止オプション)の、いずれか大きい方を選択する、行動をとる。図 3-24 の例にある変数を当てはめると、末端ノードのペイオフは表 3-12 となる。

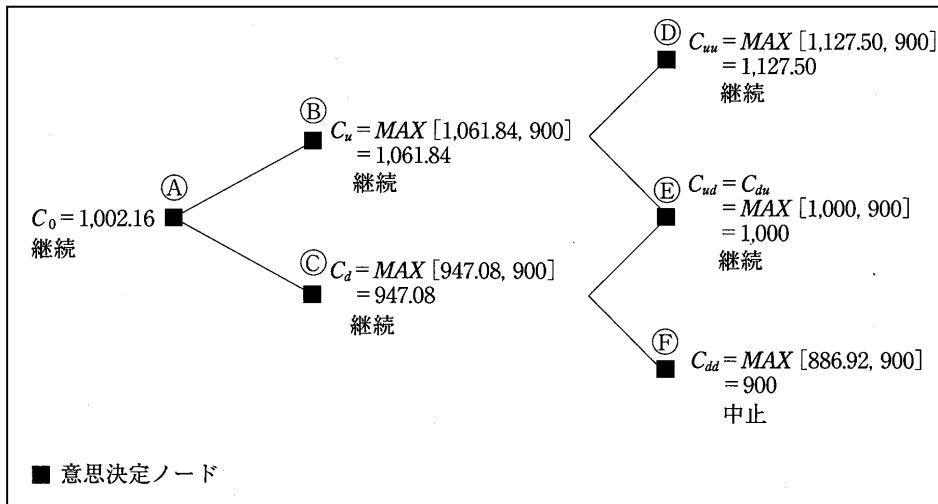


図 3-24 中止オプションにおけるプロジェクト価値のデシジョンツリー(Copeland ら、2002)

表 3-12 末端ノードのペイオフ

ノード	ペイオフ	決定
D	$MAX[u^2V, X] = MAX[1,127.50, 900]$	継続
E	$MAX[udV, X] = MAX[1,000, 900]$	継続
F	$MAX[d^2V, X] = MAX[886.92, 900]$	中止

そして、ノード C におけるフレキシビリティを持つプロジェクト価値は、ノード E とノード F における複製ポートフォリオからさかのぼって算出する。まず、ノード C の現在価値の複製ポートフォリオは次式とする：

$$C : mdV_0 + K \quad (m, K = \text{未知数})$$

ノード E とノード F における複製ポートフォリオのペイオフは、両状態におけるプットオプション*のペイオフと等しくなければならないので、次の 2 つの未知数(m, K)を含む 2 等式が得られる：

$$E : m(duV_0) + (1 + r_f)K = 1000$$

$$F : m(d^2V_0) + (1 + r_f)K = 900$$

*プットオプション指定した証券や商品を、予め決められた価格(行使価格)で予め決められた期間(行使期間)に売る権利

2 等式から解いた m, K を式 C に代入すると、 C における現在価値である 947.08 が得られる。同様に、ノード B とノード A を算出することで、デシジョン・ツリーが完成する。

このような Copeland、他による手法を使うことで、デシジョン・ツリーにより、各ノード(時点)における、相互に排他的な意思決定(例示されたケースでは「継続」と「中止」)のペイオフを評価し、ペイオフが最大となる場合を最適な意思決定として選択することが可能となる。

3-4-3.ROA に関する研究の整理

事業資産評価と投資経営戦略に関する分野では、ROA を利用する関連研究と事例が増えているが、対象とされているのは概ね大規模プロジェクトに関する意思決定である。本研究は小規模(世帯向け)のプロジェクト(省エネ改修)を対象にするため、一般の研究や事例からいかに類似した手法と経験を捉えるかが重要となる。下記ではいくつかの例を挙げて、本研究の参考となる知見をまとめた。

◆Options-based Evaluation of Facade Refurbishment Alternatives (W. Fawcett ら、2001)¹²⁴

この研究はオプションベースで、会議センターの客室の窓の断熱改修における ROI(投資収益率)を論じている。ここでの投資回収は以下の二つに影響されると提示されている：

- 1.)サービス水準と料金：Fawcett らの研究では、成熟したホテル業を対象としているので、そこでは不確実性が相対的に低く、計算対象から外している。
- 2.)エネルギー料金：ガス価格の変動に関わるので不確実性が相対的に高いであると考慮した上で、その不確実性の影響を定量化することはこの研究の目的である。なお、将来の料金変化が想定条件で仮定するが、その変化を予測しない。この研究では過去の価格推移データを用い、簡易的二項分布アプローチを利用してオプション価値を計測した。

「従来の DCF 法により、事業への投資を続けるべき状況は：

$$(Present\ value\ of\ the\ ongoing\ cash\ flow) - (cost\ of\ the\ work) > 0$$

それに対して、オプションベースでの考え方により、投資を続けるべき状況は：

$$(P.V.\ of\ the\ ongoing\ cash\ flow) - (cost\ of\ the\ work) - (Value\ of\ the\ option\ to\ wait) > 0$$

124 William Fawcett, Ian Ellingham, Options-based Evaluation of Facade Refurbishment Alternatives, The Whole-life performance of facade - Proceeding, 2001

すなわち、「不確実性がある以上、それに対応するオプションを用意する必要がある。なお、現実世界の意思決定には無限のオプション(選択肢)があるため、オプション評価は肝心な要素だけに絞らなければならない。」

この研究により、ROA は小規模建物改修のプロジェクトにも応用できることが分かった。そして、金融オプションなどに使われた複雑な計算理論ではなく、簡易的二項分布アプローチを用いることで、不確実性とオプション価値をある程度考慮できることが分かった。

◆Architecting / Designing Engineering Systems Using Real Options (R.de Neufville、2003)¹²⁵

この研究では、ROA と NPV/DCF 法と Decision analysis の相違、および Financial Options との共通点を比較した。Financial Options と同じように、ROA の分析結果は「right but not obligation」(義務ではない、権利である)なので、意思決定支援ツールとして使われる。そして、不確実性の状況の下で、柔軟性(flexibility)を持つことは利益を生み出すという点も ROA に対して重要な特徴である:「*Because of the asymmetry of value, flexibility has a further remarkable characteristic: the more uncertain, the riskier the situation, the more valuable the option or flexibility becomes.*」。そのため、不確実性と柔軟性における評価は、ROA には非常に重要であり、特に計算における、ボラティリティ(volatility)の設定は慎重に考慮しなければならない。

この研究は建築・土木分野における ROA の実用性と手法を検討した後、次の二点を指摘している。それは:

- 1.)膨大な取引記録とデータがある金融市場とは異なる、建築・土木分野の履歴データは、リスク分析には役に立たないことが多い。
- 2.)実務では、ROA で分析した最適な意思決定時点と価格のとおりに行うことは少ない。

この研究により、プロジェクト価値を分析する時には、不確実性(ボラティリティ)と柔軟性における評価が極めて重要であり、時系列データ・分析に有用な情報の蓄積が大切であることが分かった。これで、従来の「静的分析」から、現実に近い「動的分析」に転換することができ、不確実性下の意思決定に対する ROA の応用性が高まる。

125 Richard de Neufville、Architecting / Designing Engineering Systems Using Real Options、working paper series、ESD Internal Symposium、2003

◆中心市街地の店舗に存在するリアルオプション価値の計測(足立、2010)¹²⁶

この研究は、簡易的なリアルオプションモデルを用いて、市街地の再開発を対象として、様々な種類(延期・拡大・縮小・混合)のオプション価値の計測を行い、現実世界での応用の可能性について論じている。

計算結果(表 3-13)により、混合型オプションでは価値の上昇率が最も高いことが分かった。この結果は、拡大・縮小オプションを同時に考慮し、柔軟性 (flexibility)を持つことにより事業価値が高まるといえる。

表 3-13 オプション価値の計測結果比較

オプション価値	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
拡大オプション	1.42	1.69	2.43	3.1
縮小オプション	1.19	1.22	1.24	1.31
混合オプション	1.25	1.77	3.31	4.31
拡大率 β	1.5	2.0	2.5	3.0
縮小率 α	0.5	0.6	0.7	0.8

*表記数字は、原事業価値の倍率である。

また、この研究は中心市街地から郊外型店舗へのスイッチオプションを計算して、数式によりモデル化している。そして、状況変化に応じて、最適な店舗戦略を検討した上で、1980年代後半から発展した中心市街地商業施設と郊外型施設との競争現象を、モデルで解釈した。下記にその数式を示す。

$$GM\log M = G\log O + G\log C$$

(GM : M の成長率、M : 売上など潜在的なパワー、郊外型店舗 : O、GO : 成長率、中心市街地 : C、GC : 成長率)

- 1.)GM=GC or GM<GC 中心市街地のシェアを伸ばすことができる
- 2.)GC<GO および GO>GM(or GO=GM) 郊外型の大型店舗が中心市街地の売上を奪うことで成長する

この研究により、オプション価値を比較することで、柔軟性を考慮した意思決定はより高い価値があることが分かった。スイッチオプションの事例では、ボラティリティが 10% から 100%までのケースを想定して比較した。この研究により、Neufville が指摘したように、不確実性と柔軟性における評価が非常に重要であることが分かった。

126 足立基浩、中心市街地の店舗に存在するリアルオプション価値の計測、経済理論、355、p21-44、2010

◆不確実性に対応した大規模プロジェクトの段階整備計画手法に関する研究(高橋ら、2005)¹²⁷

この研究は、関西国際空港事業を対象とし、段階整備の立案のための定量的な手法としてリアルオプションを用いた研究である。二項分布アプローチが採用され、三つの段階整備計画におけるプロジェクト価値と便益を推計している(表 3-14)。その際に比較された三案を以下にしめす。

案 1.) 第一段階の施行の最終年(3 年目)において第二段階への移行を選択できる権利(オプション)を有する計画とする。

案 2.) まず小規模(1/3)に先行して、状況を判断して大規模(2/3)に展開するという計画

案 3.) 第二段階への移行の判断を 3 年目から 8 年目まで、5 年間遅らせることとする計画

ここでは、プロジェクト価値の期待値の推移を当初想定便益と定義して、検討期間において当初想定していた以上の便益が確保される確率を算出し、第二段階への移行確率を推定した(表 3-15)。

表 3-14 オプション価値の算定プロセス (単位:億)

0 年目	1 年目	2	3	4	5	6
45	80	135	210(投資)			
	18	37	77(投資)			
		2	4(投資)			
			0(中止)			
投資額 -84.9 $\sigma=30\%$ $r=2\%$ σ =不確実性(ボラティリティー) r =安全利子率						

表 3-15 不確実性(σ)に対する NPV、B/C および第二段階への移行確率(案 1)

σ	NPV	B/C	移行確率
0%	60	1.33	100%
10%	60	1.33	100%
20%	62.2	1.35	87%
30%	65.4	1.36	84%
40%	70.5	1.39	39%
50%	77*	1.43	35%
σ =不確実性(ボラティリティー) NPV=正味現在価値 B=便益 C=投資コスト			

*NPV=77 正味現在価値(純利益)が高いが、移行確率が低いため、移行すべきではない

127 高橋宏直、吉田二郎、山本幸司、社会資本整備の評価手法へのリアルオプションの適用に関する研究、国土技術政策総合研究所研究報告 No22、2005

この研究は、計画実行の可能性から評価手法の提案に注目している。二段階計画の評価方法を考慮し、当初想定便益以上が確保できる適切な移行タイミングと確率を図表で明らかにした。住宅の住まい手にとって、住宅の改修に関わるタイミングの判断は、将来の不確実性を考慮すると、非常に難しいものとなるため、この事例が示す、改修等の投資事項の実行時期を調整し得る考え方は、小規模プロジェクトにとって、参考になると考えられる。

3-4-4.まとめ

オプション価値分析は、四段階に大別される：

第一段階：従来の手法を用いたプロジェクトの NPV 分析

第二段階：プロジェクトのボラティリティを決定づける複数の不確実性をひとつにまとめ、それに基づいたイベント・ツリーの構築

第三段階：プロジェクトのオプション価値の推計、デシジョン・ツリーの作成

第四段階：デシジョン・ツリーのペイオフの評価

計算期間(ステップ)数を有限個に分割している二項分布アプローチは、離散型確率分布と呼ばれ、確率分布シミュレーションの一つである。「再結合型」二項分布アプローチを用いてイベント・ツリーを作成することで、事象の様態とその発生確率を表現することは、ROA 研究において最も使われる手法である。

プロジェクトの規模に関係なく、不確実性がある以上、オプション評価は必要である。なお、現実世界の意思決定には無限のオプションがあるため、オプション評価は重要となる要素だけに絞らなければならない。特に ROA では、変動の激しさによる影響を把握するため、ボラティリティ(volatility)の設定を慎重に考慮する必要があると考えられる。

既往研究により、ROA 手法では、将来発生しうるが、現時点では、はっきり把握できない不確実性をパラメーターとして、以下のような二つの考え方で捉えることが分かった：

- 1.)コスト・便益の変動など、時間経過とともに変化する要素に対して、その想定動向を二項分布アプローチなどの確率過程で推定する。
- 2.)幾何ブラウン運動のように上下変動すること、即ち変動の激しさを、ボアティリティ(volatility)で表す。

よって、この二つのパラメーターを用いた ROA は、異なる投資時点において発生しうるオプション価値を推定し、将来の不確実性に対応して柔軟性のある分析を行う評価手法である。なお、上述のような属性が異なる不確実性は、住宅 LCC 計算にも存在するが、一般の LCC 分析手法ではこの二つの不確実性への考慮が少ない。

これらの既往研究をふまえ、不確実性を考慮した、柔軟性のある分析を行う評価モデルは意思決定分析に役に立つと考えられる。そのため、本研究では物価(光熱費)と利子率の変動動向を、二項分布確率過程で想定した上で、その変動の激しさをそれぞれのボラティリティ(volatility)で表し、代替案の予測値と分布範囲・分布確率を推定する LCC 評価モデルを提案する。(第 4-2 節を参照)

本論

第四章 本研究の意思決定分析手法

本研究の目的は主に以下の二つである：

1 居住行為に関わる意思決定を支援するための過程を提案すること。

2 住宅 LCC 計算にかかわる不確実性を考慮した LCC 評価モデルを提案すること。

その二つの目的を果たすために、本研究では如何に意思決定問題を考慮するのか、如何に不確実性を扱って LCC 評価モデルに取り入れたのかについては、本章で説明する。

4-1 住宅 LCC 分析における不確実性下の意思決定過程

第三章の既往研究の知見から、本研究における「不確実性下の意思決定過程」を以下のように定義する：「不確実性下の意思決定過程とは、特定の目標を達成するため、検討時における不確実性を考慮した想定条件下において、ある評価モデル、あるいはモデルを用い、選択可能な複数の代替案の中から、最善の解を選定することである」。本研究では、2章で示した日本における住宅市場の問題の内、住まい手が、将来の不確実性に対応した意思決定プロセスに関して言及する。従い、上記の不確実性下の意思決定過程に関して、その定義のもと、本研究の議論の焦点となる、「住宅の修繕・改修・改築における意思決定の過程」に関与する諸要因を、プロセスの段階別に、図 4-1 に示す。

この図は、ユーザーが、住宅改修・改築などの投資問題に直面する際、様々な Design Solution の中から、ユーザーにとって最適であるものをろ過するための検討プロセスを示している。下記にプロセスの各段階別の詳細を示す。

1. 与条件検討段階：住宅とユーザー(User)の状況・ユーザーの選好志向(Preference)から、制約条件と Controllable Condition を分析し、改修・改築の目標および代替案を比較するための基準を設ける。たとえ同じ住宅物件を対象とし、制約条件が同様であっても、異なるユーザーにより Controllable Condition が変わるため、目標と基準に相違が生まれる。

2. 提案段階：1で設けた与条件を考慮した上で、提案者が複数の代替案(Design Solution)を提案する。本研究では、Design Solution とする代替案を、LCC 評価する前の案とし、一連の評価後に残った案を、可能解と呼ぶ。投資の意思決定を行うユーザーは、可能解から、実施する案や、保留する案を選定する。

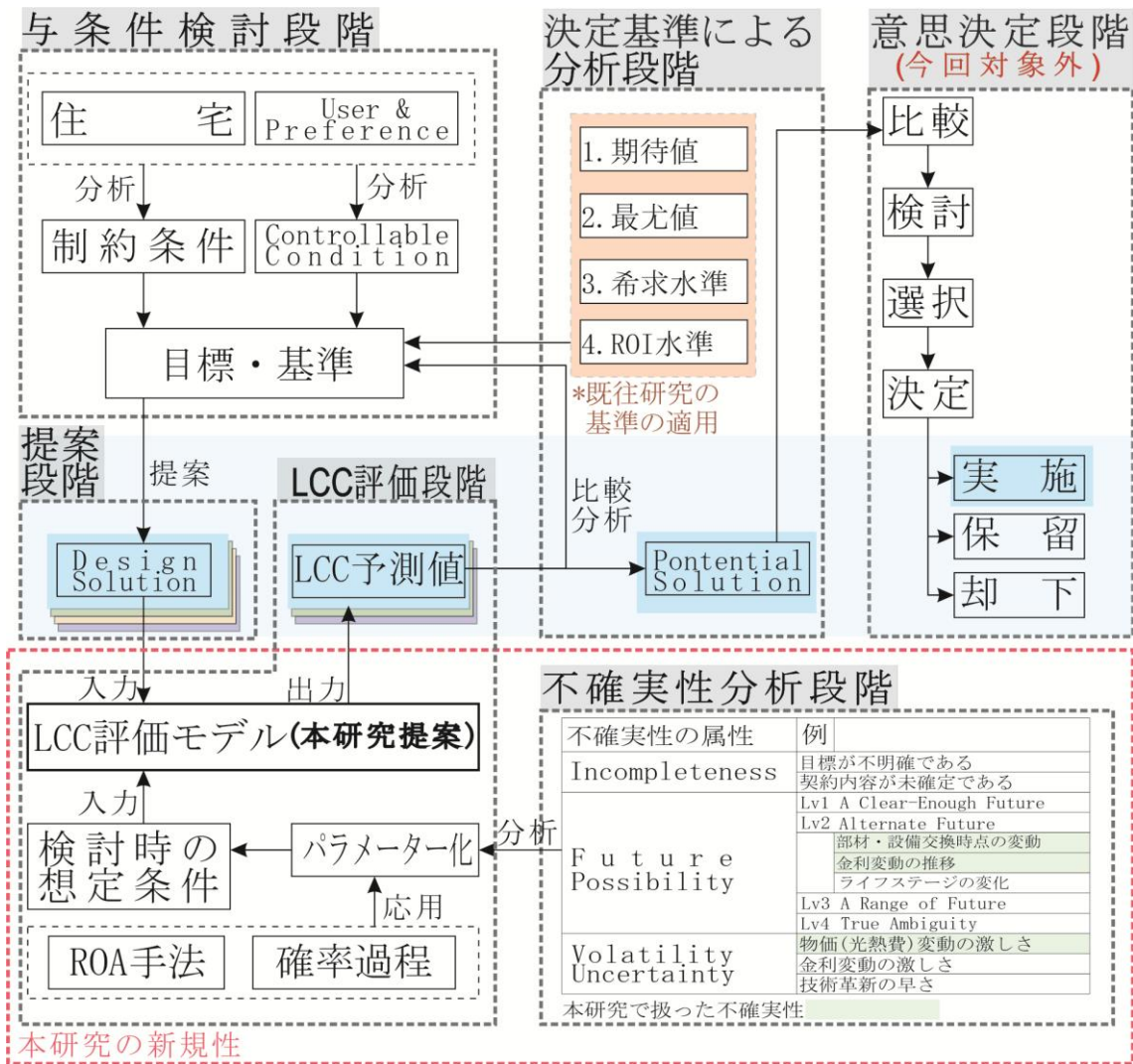


図 4-1 住宅の修繕・改修・改築における意思決定過程(本研究作成)

3.不確実性分析段階：現時点で取得できる情報により、どのような不確実性があるのか、それに対してどの方法をもって、パラメーター化するかをこの段階で分析する。不確実性の特性により分析者が異なるため、この段階がもたらすパラメーターは一定ではない。例えば、部材修繕・交換周期や技術革新にかかわる不確実性ならば、それを分析するのは、工事に詳しい提案者であり、経済環境の動向を分析する場合は、不動産経済を専門とする第三者となると考えられる。なお、取得情報の内容によっては、不確実性が定量化できない場合もある。この段階で、パラメーター化された不確実性要因から、代替案検討時の想定条件を定義する。

4.LCC 評価段階：3にて定義した想定条件の下で、本研究が提案する LCC 評価モデルを用い、各代替案の LCC 予測値を算出する。この計算の想定条件は、将来の変化状況と不確実

性を考慮した上で仮定されたシナリオである。本研究の LCC 評価モデルは、一般の LCC 手法が算出する期待値のみではなく、予測値の分布範囲・発生確率も把握することができる。

5.決定基準による評価：4 で算出された LCC 予測値と 1 で定義した基準との比較により、基準を満たす代替案が可能解 (Potential Solution)となる。LCC 予測値が基準を満たさない場合は、設けた目標・基準が代替案の改修効果と乖離する可能性が高いため、はじめから再検討する必要があると考えられる。決定基準の設定および適用場面に関する議論が多い¹²⁸、それは意思決定者の属性と選好にかかわらず、絶対の正解が存在しないため、本研究ではその正確性を論じず、既往研究に提示された決定基準に準じ、それらを適用するに留めた。

6.意思決定段階：この段階では、意思決定者(ユーザー)は、LCC 評価モデルから選び出され、5 の決定基準による評価を得た可能解を比較・検討・選択した上で、最終決定を下す。ここでの決定とは保留、実施、却下の三つがあるが、どれを選択するかは、意思決定者の選好志向次第であるため、ここでは義務ではなく権利であると考ええる。予測結果により、改修・改築を現時点で行うより先送りするほうが有利である場合は、「保留」の結果となる。なお、N 年後まで保留される代替案における改修・改築効果は、N 年後の現況条件で改めて評価・検討する必要があると考えられる。一方、予測結果により、改修・改築を現時点で行うことが一番有利である場合は、「実施」が選択肢となる。

本研究では上述のプロセスの第 3：不確実性分析段階、及び第 4：LCC 評価段階を中心に提案する LCC 評価モデルの新規性を議論する。本研究のケーススタディにおいては、第 1 から第 5 段階までを該当範囲とする。第 6 段階は、ユーザーの意志で決定する段階であり、分析手法とは直接関係がないため、本研究の検証範囲には入らない。また、与条件検討段階では、ユーザーの選好志向で選んだ Controllable Condition により、改修代替案がもたらす投資対効果が異なり、どのような条件を組合せることにより最適な効果が得られるのかは重要ではあるが、そのことは最適化問題の範囲に入るため、本研究では議論しない。同様に、与条件検討段階において、如何にユーザーの選好志向を反映させた上で、選好条件の重み付けを評価するかが重要であるが、それを分析するための既存手法（階層分析法 (Analytic Hierarchy Process)など）は多く存在するので、本研究では検証対象外にした。

128 飯田耕司：意思決定分析の理論、p148-157、2005

本研究が提示する住宅の改修における意思決定過程に関与する、各ステークホルダー

とその役割の関係を以下のプロセス図に示す。(図 4-2) :

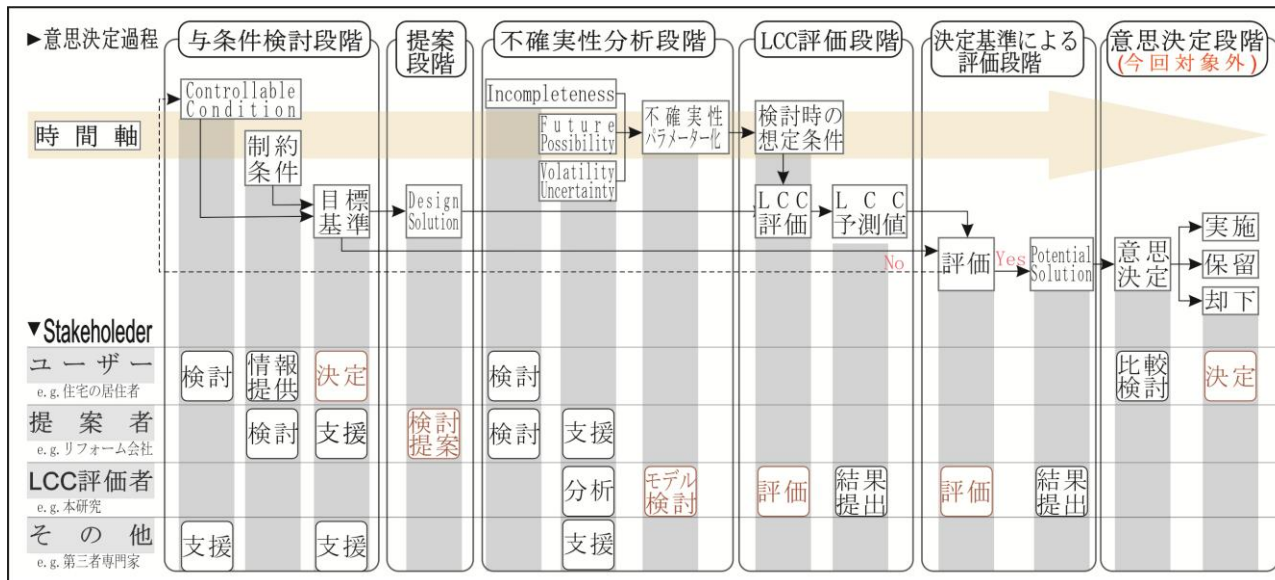


図 4-2 意思決定過程にかかわる各ステークホルダーの役割(本研究作成)

下記に、本意思決定プロセスに関与するステークホルダー定義を示す。

- a. **ユーザー** : 意思決定者。住宅の住まい手・買い手、賃貸の長期入居者、投資目的で住宅を購入する不動産業者などが該当する。意思決定過程の最初の段階において与条件を決められないといけないため、ユーザーが制約条件と Controllable Condition を明確にした上、提案者と第三者から支援を得て目標と基準を設けておく必要がある。不確実性分析段階では、契約内容や用途、目標などの未確定事項(Incompleteness)があれば、早めに決定してこのような不確実性の解消が望まれる。そして、最後の決定段階では、ユーザーは LCC 評価と決定基準の評価による予測結果を参照しつつ、自身の意志や選好をもとに決定を下す役割がある。
- b. **提案者** : 代替案 (Design Solution) を提案する人である。リフォーム業者、ハウスメーカーなどが該当する。ユーザーにより与えられる与条件を満足することを前提に、ユーザーの目標を達成できるような代替案を提出することが、提案者の役割である。不確実性分析段階では、提案者は技術革新や耐用年数、工事費変動など、代替案の内容にかかわる不確実性を検討し、変動パターンの可能性を想定する役割がある。
- c. **LCC 評価者** : 代替案の LCC・投資対効果などを分析する人である。本研究の成果となる評価モデルを利用する当事者 (LCC 評価者) が該当する。不確実性分析段階では、LCC 評

価者は各ステークホルダーによる分析結果を統合し、不確実性をパラメーター化して評価モデルを作成する。代替案の LCC 評価段階において、LCC 予測値を算出し、更に決定基準を用いて可能解を選び出すことは LCC 評価者が担う重要な役割である。

d.その他：ユーザーを支援する第三者専門家・機構である。意思決定プロセスの中の様々な段階において、ユーザーは第三者からの専門的知識・サービスの支援を得ることが考えられる。例えば、決定基準を検討する際、ユーザーは前もってリスク選好度や好みの優先順位を決めておかないといけないため、このような分析作業においてユーザーを支援する第三者専門家の役割が考えられる。また、不確実性分析段階では、金利・物価など金融環境における将来の変動状況を予測し、シナリオを想定することも重要である。現在、既に存在するサービスプロバイダー等も、便宜上この分類に位置づける。

意思決定過程の各段階における用語の定義および検討事項を以下に示す：なおこの意思決定プロセスでは、ユーザーは、住宅に対する投資の際に検討される案と、それが評価された投資対効果を参考にして意思決定を行うと仮定しているが、便宜上、意思決定の対象を「住宅」とし、LCC 評価の対象を、「検討される案 (Design Solution)」とする。

(1)住宅とユーザー：意思決定を行う対象と主体である。これらは住宅の条件・ユーザーの条件・ユーザーの選好(Preference)で構成され、制約条件と **Controllable Condition** に影響を与えるものである。なお本研究の意思決定の対象は住宅(特に既存マンション)であるが、学校、商業ビル、公共施設などの建築プロジェクトに対しても、この意思決定分析過程の枠組みは適用できるものと考えられる。

(2)制約条件(Constraint Condition)：意思決定の対象(住宅)の特性により、前提条件として代替案作成の自由度を制約する事項である。マンション管理条約による工事可能範囲、法律・規制によるの禁止事項、環境・気候条件などがこれに該当する。

(3)Controllable Condition：ユーザーの選好志向により選ばれた前提条件として、代替案作成の自由度を調整する事項であり、ユーザー自らが決定しなければならないものである。計画居住期間の設定、予算の編成(ユーザー次第で制約条件となる場合もある)、工事項目へのこだわり、リスク選好度(リスク志向・リスク中立・リスク回避)などがこれに該当する。

(4)目標・基準：目標とは、制約条件と **Controllable Condition** 双方を考慮した上で、提案を行う際の期待される成果である。基準は、案を実施したら予測された結果に達成するか否かという判断のものさしを示す。これらは、数字や値で評価することが多く、コスト削減効果、期待効用、期待収益、費用対効果などが該当する。なお、目標と基準の設定は、

現実の状況から離れて合理性に欠ける場合もある。基準に関して、本研究では、飯田¹²⁹が提示した決定基準：「期待値」・「最尤値」・「希求水準」を用いて代替案の比較基準とした(第 6-1 節に詳述)。

(5)代替案(**Design Solution**)：制約条件と **Controllable Conditon** を満足した上で、目標・基準に達成するための、提案者により作られた提案である。住宅改修・改築の場合では、工事項目の組合せ、メンテナンス計画などが該当する。

(6)**LCC 評価モデル**：(5)代替案と(8)想定条件を入力し、想定した計算期間の **LCC** 予測値を算出する数理モデルである。なお、異なるプロジェクトの目的と目標・基準の設定により、**LCC** 予測値の導き方が若干変わるが、同様に計算に組み込むコスト項目(イニシャル・ランニング・メンテナンス・リノベーション・ディスポーザルコスト)、想定条件もプロジェクトの目的次第で異なる設定がなされる。詳細は、次節 4-2 にて示す。

(7)**LCC 予測値**：**LCC** 評価モデルを用い、不確実性を考慮した **LCC** 期待値・分布範囲・確率などがこれにあたる。

(8)**検討時の想定条件**：今後起きる事象の動向を予想して、**LCC** 評価のパラメーターにするものである。本研究においては、経済環境(物価・金利)の変動、経年劣化(部品・設備の交換周期)の予想、技術革新、ユーザーにおけるライフステージの変化などが該当する。複数の異なる想定条件下での予測値を比較することを通じて、事象が動向すると考えられる範囲を比較的正確に把握することが可能となる。

(9)**不確実性**：過去の動向から、今後起きる事象の動きを予測しようとしても、正確には把握できないものを指す。事象における変動の激しさ(**Volatility**)、生起確率などが該当する。本研究における不確実性は、数学的手法で扱え、パラメーター化が可能であるものが該当する。ここでの不確実性は第三章の既往研究分析から、三つに分けた：

a.未確定事項がもたらす不確実性 (**Incompleteness**)：ユーザーや提案者などのステークホルダーが決定すべき事項ではあるが、**LCC** 評価を行う時点でまだ決まっていないことを指す。本研究では、このような不確実性はステークホルダー間で事前処理すべき問題として、議論しないこととする。

b.将来の可能性 (**Future Possibility**)：今後起きる事象の動向や発生範囲を予測・把握出来るかどうかにより、四段階に分けられた不確実性を指す(第 3-1-2 節を参照)。本研究では、

129 飯田耕司：意思決定分析の理論、p148-157、2005

四段階のうち LV2 の不確実性に属する、部材設備交換時点の変動、金利変動の推移、物価(光熱費)の上昇をパラメーターとして LCC 計算モデルに組み込んだ。

c.変動幅の不明確性(Volatility Uncertainty) : 事象の動向と変動の推移はある程度把握できるものの、幾何ブラウン運動のような上下変動と、その激しさが予測できないことを指す。本研究では、物価(光熱費)の上昇を想定した上で、その上下変動の激しさをパラメーターとして LCC 計算モデルに組み込んだ。

(10) 可能解(Potential Solution) : 代替案の LCC 予測値が、決定基準の評価を通し、当初設定された目標と基準を満たした結果の集合である。これらの可能解が、意思決定段階においてユーザーにより比較され、最終的な選定がされるものである。

(8)と(9)に関するパラメーターの検討には、過去の推移および現況データからの分析が不可欠であると考えられる。想定条件における工事費の変動、省エネ効率の向上などのパラメーターの設定値は、(過去の)事例の考察を通じて得られる。物価・金利変動に関する想定条件は、あくまでも将来への仮定にすぎないが、極端な状況が生起しない限り、過去の推移データを用いて推定すれば、今後の動向とその可能性がある程度把握できると考えられる。

本意思決定プロセスは、特定の想定条件の下で、代替案ごとに LCC 評価を行い、予測値を算出し、目標・基準と比較するという流れを繰り返すことを通じ、目標・基準を満足する代替案を選び出すことができる。なお、将来の可能性は単一ではないため、想定条件を複数のパターンで設定した上で、総合的に検討することが適切であると考えられる。

本研究はコスト・マネジメントの観点から LCC 評価モデルを提案し、住宅の改修における意思決定過程を議論しているが、住宅以外のケースや、設定目標が異なる場合、また他の評価モデルを用いる場合における、本研究の意思決定分析過程モデルの適用性に関しては、今後の研究課題として一層深く探求する必要があると考える。(たとえば、環境への影響を比較したい場合には、LCCA 評価モデルや LCCO₂ 評価モデルを使うなど)

4-2 不確実性を考慮した LCC 評価モデル

既往研究における LCC 手法を基に、本研究が提案する LCC 評価モデルを構築する。本研究の LCC 評価モデルでは、今まで議論が少なかった、経済環境(物価・利子率)の変動、住宅部品・設備の交換周期の変動、という二つの不確実性をパラメーターとすることで、そのボラティリティ(volatility)と生起確率により、LCC 計算に組み込む。そして、想定される将来の状況と不確実性を、イベント・ツリーで表現することを通じ、各イベントに対応した、最も有利な決定時点と行動を検討する。具体的な計算と評価方法は、後節にて述べる。

4-2-1 物価・利子率変動における不確実性に対する計算方法

第三章で述べたように、一般の LCC 手法では、物価や利子率変動を考慮しないため(考慮しても固定値で設定される)、分析結果は局所的で「静的分析」であることが多い。DCF 法(Discount Cash Flow)を用い、計算期間 T の間に、各時点のコストを該時点の割引率 R で割引し、換算した現在価値を加算することで LCC を推定するのが一般的な LCC の手法である。計算されるコストには、初期投資費用・ランニングコスト・残存価値に関する費用項目などたくさんあるが、精算や略算、または比較の目的により、計算項目を計算式から省略することも可能である。初期投資費用と残存価値の計算を省略し、ランニングコストのみを計算しようとする、一般の LCC 算定は下式(式 4-1)となる：

$$LCC_{pv} = \sum_{n=1}^T \frac{C_n}{1+R_n} \quad \text{.....式 4-1}$$

LCC_{pv} : ライフサイクルコストの現在価値

T : ライフサイクルコストの計算期間

C_n : n 時点の所要コスト

R_n : n 時点の割引率

式 4-1 の内、割引率 R は実質利子率(=名目利子率-物価上昇率)を用い、固定値で一括設定されることが多い。なお、割引率に対し、複数の想定パターンを作り、計算結果への影響を測る感度分析を行う研究もある。光熱費、修繕・更新費用などの毎年支出コスト C に関しては、物価変動の影響を考慮せず、固定値で想定されることが多い(変動を考慮したケースでも変動率を固定値で想定している)。(図 4-3)

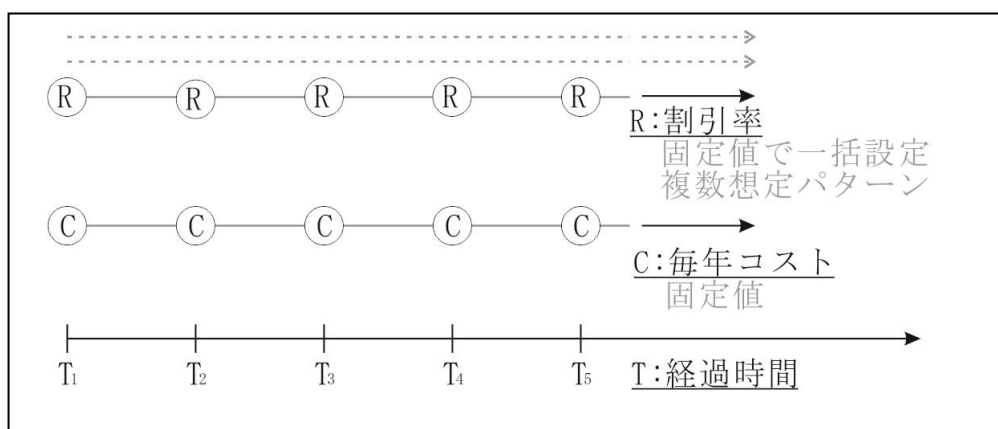


図 4-3 一般の LCC 計算手法の考え方

実際の、金利変動・物価上昇とその変動率は、時間経過とともにランダムなブラウン運動で変化するため解析が困難である。金融・会計の分野では、特に ROA(リアルオプション)分析を用い、その連続的運動軌跡と確率分布をシミュレーションする、二項分布確率過程というモデルがよく使われている¹³⁰。日本では、事業投資の目的で、二項分布確率過程を利用して、プロジェクト価値と便益を推計する研究がある¹³¹。海外では、LCC の観点に加え、代替案の投資価値を分析する研究があるが、パラメーターとして設定された変動の不確実性に関する議論が少なく、想定条件も単一である¹³²。

本研究は二項分布確率過程を用いて経済環境(物価・利子率)の変動という不確実性を把握しようとした。割引率は実質利子率ではなく名目利子率をもって設定し、コストが物価上昇率 K で毎年徐々に変動する上に、一定的確率 p と $(1-p)$ で上下に振り動かされることを、変動率 (Volatility) u と $d=1/u$ をもって設定した。そして、計算期間を T_1, T_2, \dots, T_n まで n 分割して、各時点でのコストと発生確率を推定した(図 4-4)。本研究の評価モデルの、具体的な LCC 計算式は以下の流れに従って検討する：

130 金融分野では、オプションの価値を分析するのに様々な手法があるが、主流と見なされ、最も広く使われるのは二項分布確率過程である。Johnathan C. Mun、川口有一郎(監修)：Real Option analysis リアル・オプションのすべて、p199-237 による、2002

131 高橋宏直、吉田二郎、山本幸司：「社会資本整備の評価手法へのリアルオプションの適用に関する研究」、国土技術政策総合研究所研究報告、No22、2005

132 Ellingham らの研究では、毎年の収益が不確実性の影響で上下変動すると想定した上で、この変動は単純に変動率 (Volatility) で設定されたが、将来の景気変化や物価変動の趨勢が想定されていない。即ち、異なるシナリオに対する分析が行われていない。

Ian Ellingham、William Fawcett：New Generation whole-life costing による、2006

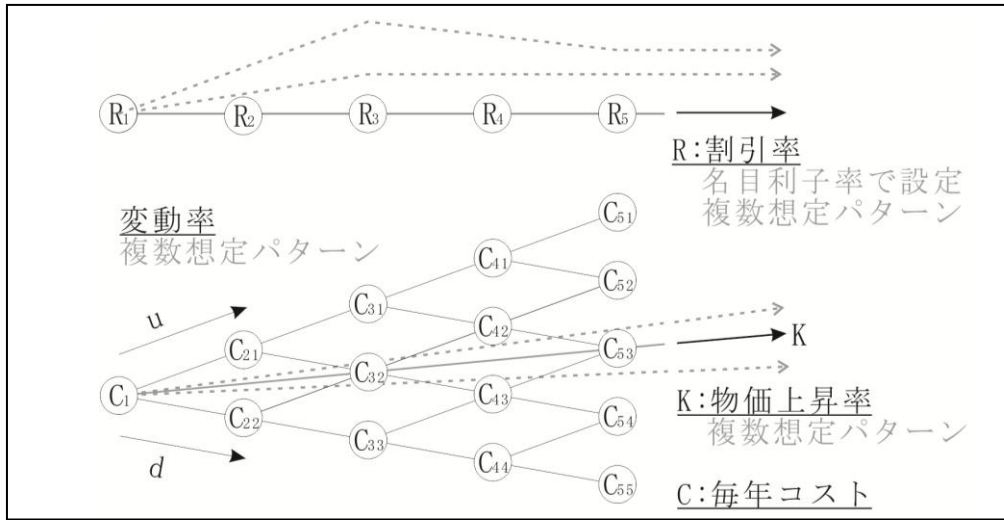


図 4-4 本研究における二項分布確率過程を用いたコスト変動の推定方法

1) 確率ツリーの作成 :

まず、ある事象の変化の発生確率を P で設定し、二項分布確率過程を用いて二項格子を展開する。そうすると、 T_n 時点になる時、その事象の各変化状況とその可能性の確率が分かるようになる(図 4-5)。ここでの事象とは、想定した物価上昇の変動(光熱水道費)のことなどを指す。事象の変化の発生確率を把握している場合には P の数値が明確に設定できるが、発生確率が不明確である時に P と $(1-P)$ は仮に $0.5, 0.5$ で設定されることが多い。また、金融分野のような、過去の生起事象と将来の変化との関連性が不明確である場合には、「リスク中立確率」を用いて将来の資産価値を算定するケースが多い¹³³。本研究では、式 4-2 で算出したリスク中立確率を用い、事象変化の発生確率 P として設定した。そして、 n 時点の特定格子 C_{nm} における事象の発生確率は、式 4-3 で推定する。

$$\text{中立確率 } P = \frac{(1+R-d)}{(u-d)} \quad \dots\dots\text{式 4-2}$$

$$\text{事象発生確率 : } P_{nm} = C_{m-1}^{n-1} p^{n-m} (1-p)^{m-1} \quad \text{その中}(1 \leq m \leq n) \dots\dots\text{式 4-3}$$

u と d : 変動率(Volatility)

R : 想定した初年度の名目利子率

P : 物価(光熱費)上昇の発生確率

133 Tom Copeland、Vladimir Antikarov 著、栃本克之監訳：「リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定」、p101-110 による、2002

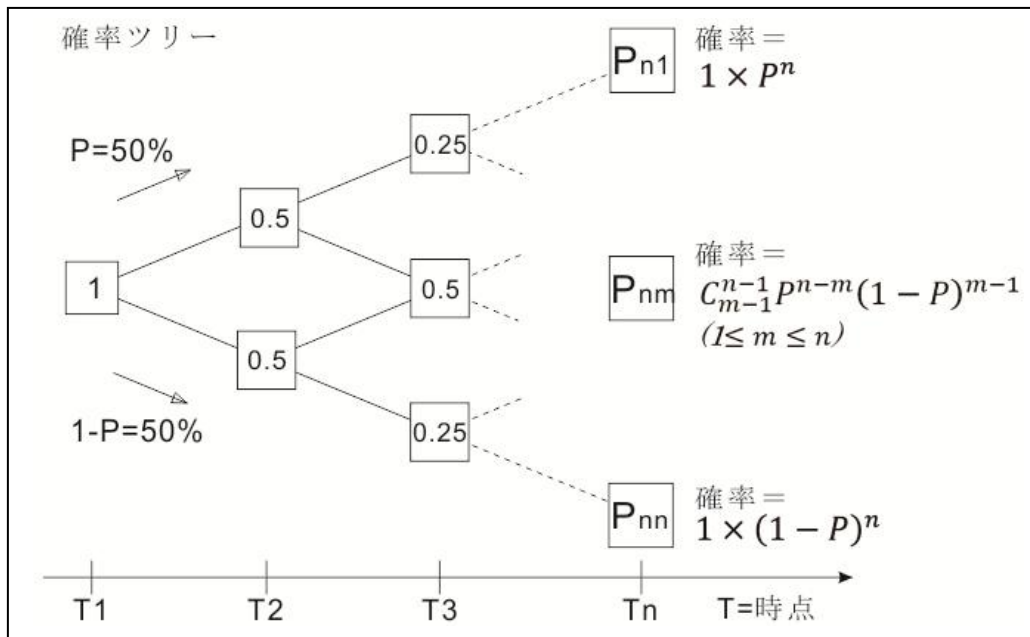


図 4-5 二項分布確率過程で推定した確率ツリー

2) コストツリーの作成 :

はじめに、事象の変化状況を表す変動率 (Volatility) を、 u と d で設定する。この変動率は、数字が大きければ大きいほど、事象の上下変動の幅が大きくなり、より不確実な状況を表す。状況判断により想定された数値であり、通常は $d=1/u$ で設定することが多い。

変動率を設定してから、事象の変動に影響された各時点・各格子の所要コストを、式 4-4 で逐一計算する。ここでの事象とは、想定した物価上昇の変動 (光熱水道費) のことなどを指す。例えば、現時点(T_1)の光熱費は 100、物価上昇率 K は 1.05、全体省エネ率 $W=0.9$ 、変動率は $u=1.3$ 、 $d=1/u=0.77$ 、 T_n 時点第 m 個格子での光熱費は A_{nm} とすると、 T_3 時点第 2 個格子での光熱費 A_{32} は $100 * 0.9 * (1.05 * 1.3)^{(3-2)} (1.05 * 0.77)^{(2-1)} = 99.3$ となる。

$$\text{コスト} : C_{nm} = C_1 (Ku)^{n-m} (Kd)^{m-1} \quad (m \text{ は } n \text{ 時点での } m \text{ 番格子}) \quad \dots\dots \text{式 4-4}$$

C_1 : 現時点のコスト

K : 想定した物価(光熱費)の上昇率

u と d : 物価上昇率の変動率(Volatility)

T_n 時点の第 m 個格子において、各項目のコスト(光熱費・改修工事費など)を合計すると、該当時点・該当格子の所要コスト M_{nm} となる(図 4-6)。

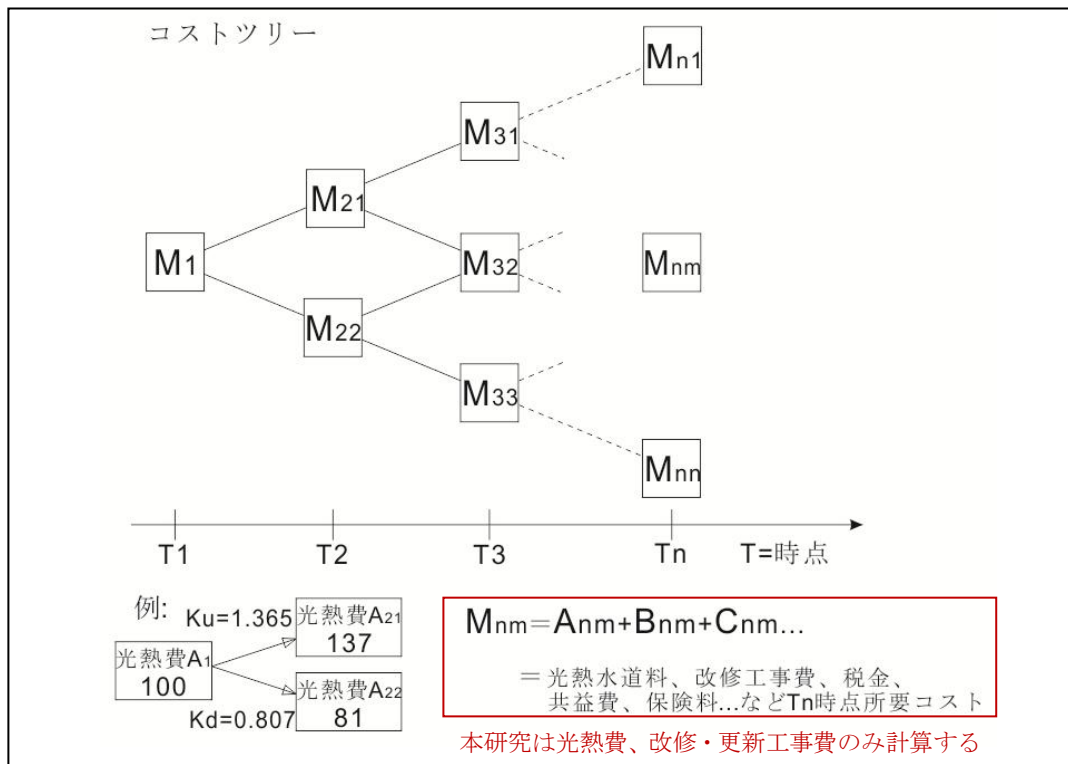


図 4-6 二項分布確率過程で推定したコストツリー

本研究は、想定居住期間における改修代替案の費用対効果を比較するため、投資の改修工事費と改修後のランニングコスト(光熱水道費)に関連する部分のみ算定した。なお、初期投資費(購入コストなど)・保険・維持保全・税金などのコストは、同一と見なされつため計算から省略した。残存価値は一般的に減価償却の概念で扱われており、市場価格にもかわり、その算定は不動産鑑定やヘドニック・モデルを用いて算定されるものであるため、本研究では残存価値を同一と見なして計算対象外にした。従って、本研究において、 M_{nm} の計算は下記の式で行う

$$M_{nm} = A_{nm} + B_s$$

その中、 A_{nm} =光熱費、 B_s =改修工事費

n 年目 m 番格子の光熱費計算式は：

$$A_{n/m'} = A(Ku)^{(n' - m')} (Kd)^{(m' - 1)} \quad \text{その中}(n' < s) \dots \text{式 4-5-1}$$

$$A_{nm} = AW_{(s)}(Ku)^{n-m} (Kd)^{m-1} \quad \text{その中}(n \geq s) \dots \text{式 4-5-2}$$

s 時点での省エネ効率修正係数 $W_{(s)}$ の計算式は：(第 5-2 節にて補足説明)

$$W_{(s)} = E_e S_e^{s-1} + E_w S_w^{s-1} + E_g S_g^{s-1} \quad \dots \text{式 4-6}$$

s 時点での改修工事費 B_s の計算式は：

$$B_s = BF^{s-1} \quad \dots \text{式 4-7}$$

A:現時点光熱水道費
 Bs : s 時点での改修工事費
 K:光熱費上昇率
 W:全体省エネ効率修正係数
 E:現時点省エネ率(Ew:水道、Ee:電気、Eg:ガス)
 S:効率向上率(Sw:水道、Se:電気、Sg:ガス)
 B:現時点改修工事費
 F:工事費変動率
 s : s 年目(改修時点)
 n : n 年目
 m : m 番格子

式 4-5-1 は改修する前における光熱費の計算式で、4-5-2 は、s 年目に改修した後、光熱費は省エネ効果で削減することと想定した計算式である。また、設備等の省エネ効率は今後向上していくと想定し、改修時点 s での効率係数は式 4-6 で推定する。改修工事費は、今後、技術革新や供給・需要の変化とともに上下変動する可能性があるが、今回の計算モデルでは、多くの変動するパラメーターを同時に扱うことができないため、改修工事費を年々下落すると固定値で想定した上で、改修時点 s での改修工事費は式 4-7 で推定する。今後、計算モデルの実用性を向上させるため、多変量解析を用いて計算モデルを調整する必要があると考えられる。また、コスト計算間隔は一定値に限られないが、本研究では計算の便宜で、それぞれの変動は三年ごとに一回と想定した。

3).各格子のコスト現在価値ツリーの作成：

コストツリーで推定した M_{nm} は、当時点 T_n の割引率を用いて現在価値に換算しなければならない。本研究における T_n 時点の割引率 R_{nm} は、想定条件として設定されるものである。 M_{nm} を R_{nm} で割ると、該当格子 nm のコスト現在価値 C_{nmpv} が得られる(式 4-8)(図 4-7)。

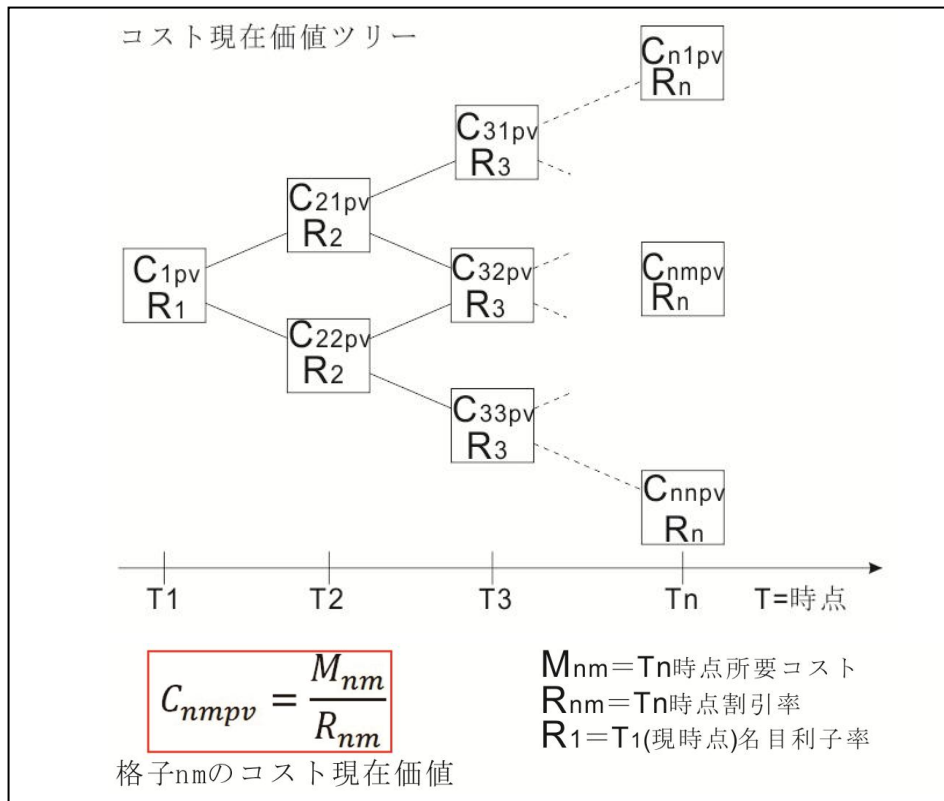


図 4-7 二項分布確率過程で推定したコスト現在価値ツリー

格子 T_{nm} のコスト現在価値: $C_{nmpv} = \frac{M_{nm}}{R_{nm}}$ 式 4-8

M_{nm} : n 時点の第 m 個格子における所要コスト

R_{nm} : n 時点の第 m 個格子における割引率

4).期待 LCC 現在価値の算出

二項分布確率過程において、計算期間 T_n が満期する時に、 n 個の分岐格子 T_{n1} 、 T_{n2} T_{nm} が発生する。最初の格子 T_1 から、特定の最終分岐格子 T_{nm} にたどり着く経路は複数あり、その経路数は式 4-9 で算出する。

T_{nm} 格子にたどり着く経路数: $X_{nm} = C_{m-1}^{n-1}$ 式 4-9

経路ごとに経路上の各時点のコストを加算して経路数で割ると、該当経路の LCC_{nm} となる。例えば、計算期間数を $n=5$ とすると、 LCC_{51} と LCC_{54} の計算は以下となる：(図 4-8)

$$LCC_{51} = (C_{1pv} + C_{21pv} + C_{31pv} + C_{41pv} + C_{51pv}) \div X_{51}$$

$$LCC_{54} = [(C_{1pv} + C_{21pv} + C_{32pv} + C_{43pv} + C_{54pv}) + (C_{1pv} + C_{22pv} + C_{32pv} + C_{43pv} + C_{54pv}) + (C_{1pv} + C_{22pv} + C_{33pv} + C_{43pv} + C_{54pv}) + (C_{1pv} + C_{22pv} + C_{33pv} + C_{44pv} + C_{54pv})] \div X_{54}$$

各最終分岐格子の LCC_{nm} を確率 P_{nm} でかけて合計すると、全体の期待 LCC 現在価値が算出できる：(式 4-10)

$$LCC_{pv} = \sum_{m=1}^n (LCC_{Tnm}) (P_{Tnm}) \quad (n \text{ は計算期間分割数}) \dots \text{式 4-10}$$

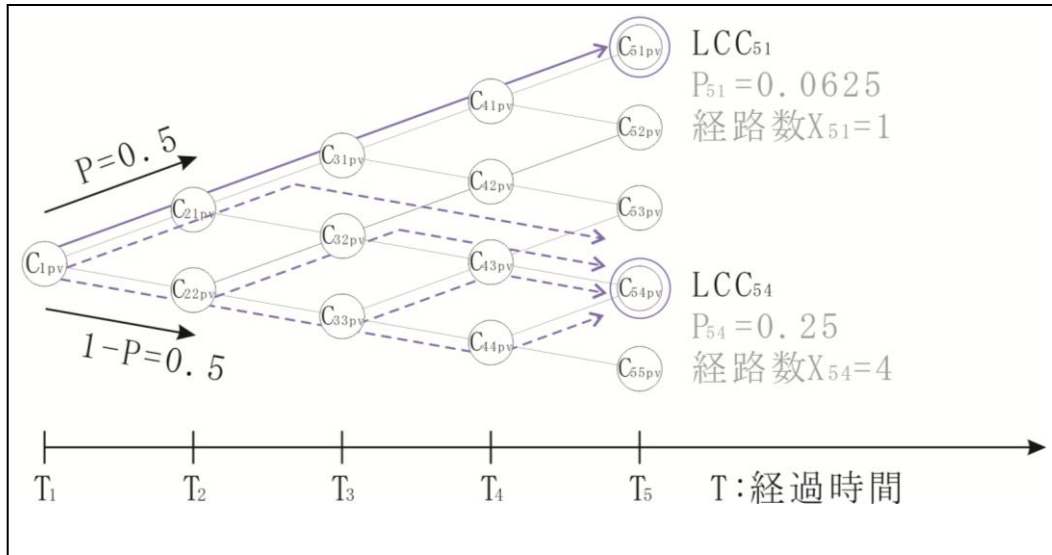


図 4-8 T_{nm} 格子における LCC_{nm} の算出例

例えば、計算期間数を $n=5$ とすると、 LCC_{pv} の計算は以下となる：

$$\begin{aligned} LCC_{pv} &= \sum_{m=1}^5 (LCC_{5m}) (P_{5m}) \\ &= (LCC_{51})(P_{51}) + (LCC_{52})(P_{52}) + (LCC_{53})(P_{53}) + (LCC_{54})(P_{54}) + (LCC_{55})(P_{55}) \end{aligned}$$

1) ~4) までの計算過程を分かりやすくするために、下記の一例を提示する(表 4-1)。

表 4-1 二項分布確率過程により毎年コストの現在価値の計算例

計算期間における各時点コストの現在価値の変移(単位：万円)								18年目最終分岐格子																																									
1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	10年目	18年目	LCC _{18m}	確率																																									
Ⓐ 24.3	Ⓑ 25.3	Ⓒ 26.3	Ⓓ 29.1	Ⓔ 30.8	Ⓖ 100.2	Ⓕ 104.8	Ⓙ 1210.0	0.00003																																									
R ₁ =1.01	Ⓘ 23.0	23.8	24.1	25.5																																													
	R ₂ =1.017	Ⓙ 21.6	21.9	Ⓛ 21.0	57.3	36.5	671.8	0.13254																																									
		R ₃ =1.035	Ⓚ 20.0	19.1	54.5	30.1	609.0	0.17812																																									
ⓐ = AW _(s) /R ₁			R ₄ =1.061	Ⓜ 17.3		24.9	553.2	0.19041																																									
ⓑ = ⓐ * Ku/R ₂				R ₅ =1.096		17.3	503.3	0.16284																																									
ⓒ = ⓐ * K ² u ² /R ₃	ⓓ = ⓐ * K ³ u ³ /R ₄ + B'' ₄				Ⓝ 48.5		458.5	0.11141																																									
ⓕ = ⓐ * K ⁴ u ² d ² /R ₅	ⓖ = ⓐ * K ⁹ u ⁹ /R ₅ + B' ₁₀				R ₁₀ =1.323	Ⓧ 3.9	425.9	0.06063																																									
Ⓢ = ⓐ * Kd/R ₂	Ⓣ = ⓐ * K ² d ² /R ₃	Ⓤ = ⓐ * K ³ d ³ /R ₄ + B'' ₄				R ₁₈ =1.497																																											
Ⓧ = ⓐ + ⓑ + ⓒ + + Ⓢ(経路数=1)							Ⓩ 351.3	0.000002																																									
代替案番号：134(第六章を参照) 全体省エネ率 W _(s) =0.78 光熱費 A=31.4 万円/年 物価上昇率 K=1.005% u=1.05 d=0.95 中立確率 $P = \frac{(1+R-d)}{(u-d)} = 0.54$					<table border="1"> <thead> <tr> <th>経過年数</th> <th>1</th> <th>4</th> <th>7</th> <th>10</th> <th>13</th> <th>16</th> <th>19</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>改修工事 B</td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>更新工事 B'</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>照明修繕 B''</td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>コスト現在価値</td> <td>107.5</td> <td>0.57</td> <td>0.50</td> <td>40.9</td> <td>0.43</td> <td>0.41</td> <td>0.43</td> </tr> </tbody> </table>					経過年数	1	4	7	10	13	16	19	改修工事 B	○							更新工事 B'				○				照明修繕 B''		○	○		○	○	○	コスト現在価値	107.5	0.57	0.50	40.9	0.43	0.41	0.43
経過年数	1	4	7	10	13	16	19																																										
改修工事 B	○																																																
更新工事 B'				○																																													
照明修繕 B''		○	○		○	○	○																																										
コスト現在価値	107.5	0.57	0.50	40.9	0.43	0.41	0.43																																										
					<table border="1"> <thead> <tr> <th>経過年数</th> <th>1年</th> <th>2年</th> <th>3年</th> <th>4年</th> <th>5年</th> <th>6年</th> <th>7年</th> <th>10年</th> <th>18年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>名目利子率</td> <td>1.005</td> <td>1.012</td> <td>1.018</td> <td>1.025</td> <td>1.033</td> <td>1.042</td> <td>1.050</td> <td>1.025</td> <td>1.010</td> </tr> <tr> <td>割引率 R</td> <td>1.005</td> <td>1.017</td> <td>1.035</td> <td>1.061</td> <td>1.096</td> <td>1.142</td> <td>1.199</td> <td>1.323</td> <td>1.497</td> </tr> </tbody> </table>					経過年数	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	10年	18年	名目利子率	1.005	1.012	1.018	1.025	1.033	1.042	1.050	1.025	1.010	割引率 R	1.005	1.017	1.035	1.061	1.096	1.142	1.199	1.323	1.497										
経過年数	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	10年	18年																																								
名目利子率	1.005	1.012	1.018	1.025	1.033	1.042	1.050	1.025	1.010																																								
割引率 R	1.005	1.017	1.035	1.061	1.096	1.142	1.199	1.323	1.497																																								

4-2-2 部材・設備の交換周期における不確実性に対する計算方法

第三章で述べたように、部材・設備の寿命は修繕・交換の周期との関連性があるため、LCC 評価の計算では、修繕・交換周期の設定が評価結果に大きいな影響を与える。これまで多くの研究では耐用年数に基づき、メンテナンス周期を設定して LCC 評価を行ってきた。これらの研究の多くは、統計データを用いて住宅の寿命や、部品・設備の寿命を推測してきた。しかし、現実での部品・設備の交換は、状況次第で想定時点より前倒ししたり、先送りしたりすることが少なくないという不確実性が存在するため、如何にその交換周期の不確実性を把握し、定量的評価を行うかが、本研究における焦点となる。

下図 4-9 は統計調査データにより推定した RC 造住宅調査年別残存率曲線である(出典：鎌谷ら¹³⁴)が、その値は、固定値ではなく、使用状況次第で変動することが把握される。そして、調査年別の回帰式が異なることから、RC 住宅における滅失パターンは単一ではないことが明確である。

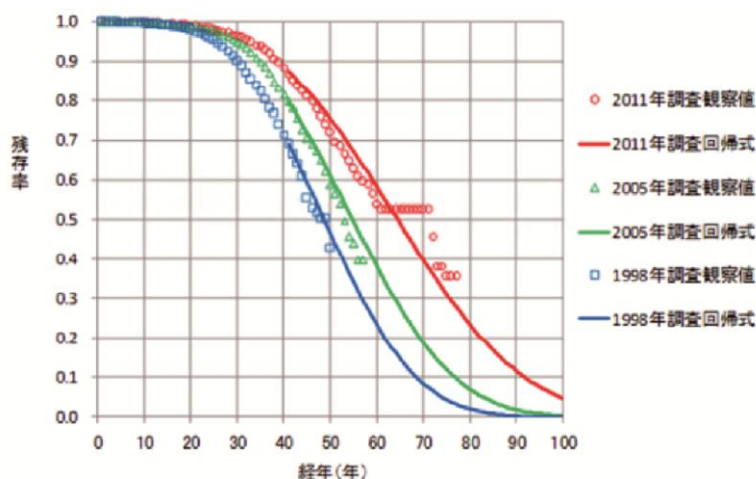


図 4-9 RC 造住宅調査年別残存率曲線(出典：鎌谷ら、2011)

2011 年の回帰式を用いて、20 年間隔で住宅の残存・滅失の確率を分析すると、表 4-2 のような結果が得られる。表の中、「経過年数」と「残存率」は回帰式のデータのまま利用した。「維持確率」とは、前の時点から該当時点にたどり着く間に、住宅は壊れなく、壊されなく、そのまま利用できる可能性である。その一方、「滅失確率」とは、住宅が壊れる、あるいは壊されて、利用できなくなる可能性である。

134 鎌谷直毅、小松幸夫：建築寿命に関する研究-2011 年における我が国の住宅平均十寿命の推計、2011 年度建築生産系建築生産演習報告、2011

表 4-2 RC 造住宅経年別滅失確率(本研究作成、データ出典：鎌谷ら、2011)

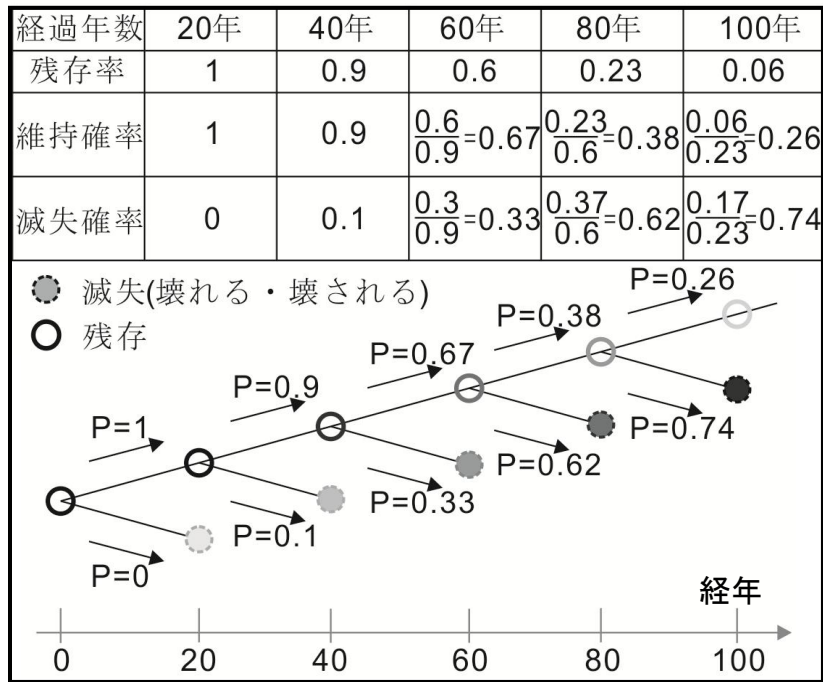
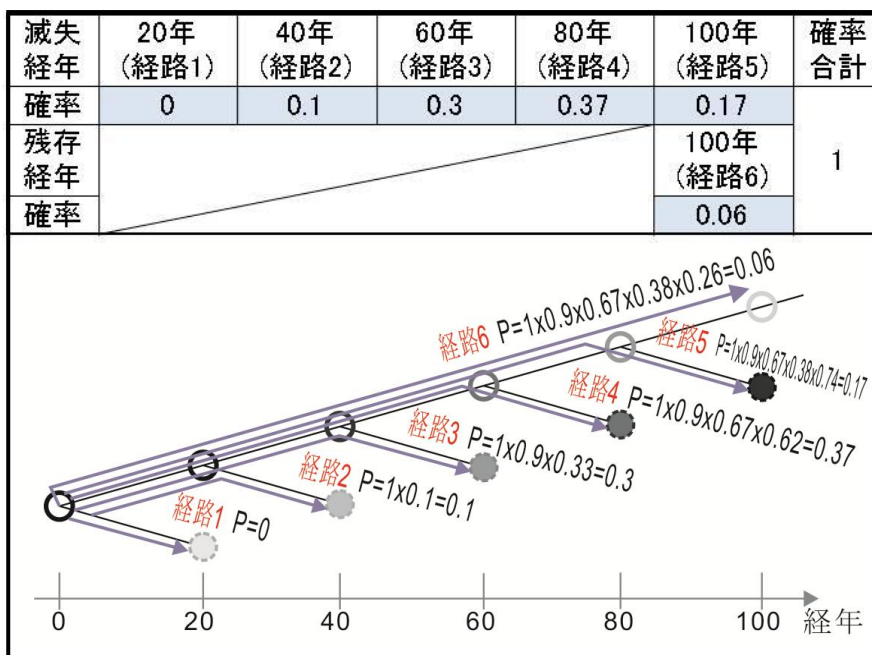


表 4-2 により、ある時点における RC 住宅が次の設定経過年数の枠組に入る時、どれだけの確率で使用し続けられるのかを把握できるようになる。このことから、RC 住宅が機能を失い、滅失するまでのパターン(経路)が複数であることが判明した。表 4-2 を用いて残存率を書き換えると、各滅失パターンの発生確率の算出が可能になる(表 4-3)。

表 4-3 RC 造住宅滅失パターン(本研究作成、データ出典：鎌谷ら、2011)



本研究では、部材・部品に関する残存率研究データを用い、住宅の部材・設備の交換周期を検討した。小松らの研究では住宅の部分別で部材・設備の残存率を分類したが(表 4-4)、本研究ではその中から省エネ効果にかかわる項目のみを抽出した。本研究の LCC 評価モデルでは、省エネ改修の費用対効果を比較するのに、光熱費、改修工事費、交換工事費、修繕工事費のみに着目したため、ここで考慮した改修項目は、「内窓増設」、「省エネエアコン」、「省エネ照明器具」、「高効率給湯器」、「節水便器」、「節水型水栓」である。

表 4-4 部分別における部材・部品・設備の交換周期(小松ら、2000)

	各部分	残存率 70%	残存率 50%	残存率 30%
サッシ	居間	21	31	45
	個室	31	53	90
	台所	26	37	53
	浴室	25	33	42
	便所	35	52	77
居室	床	10	13	16
	壁	10	12	15
	内部ドア	17	25	39
	ふすま・障子	10	13	18
	天井	12	16	24
	コンセント	17	25	39
便所	床	12	16	21
	壁	12	15	20
	天井	14	20	27
	水栓金物	15	20	26
	便器	10	13	16
設備	給湯器	7	9	10
	風呂釜	10	12	14
	電気配線	20	28	39
	給水配管	20	26	33
	排水管	18	26	35
	ガス配管	10	13	18
	アンテナ	10	13	18

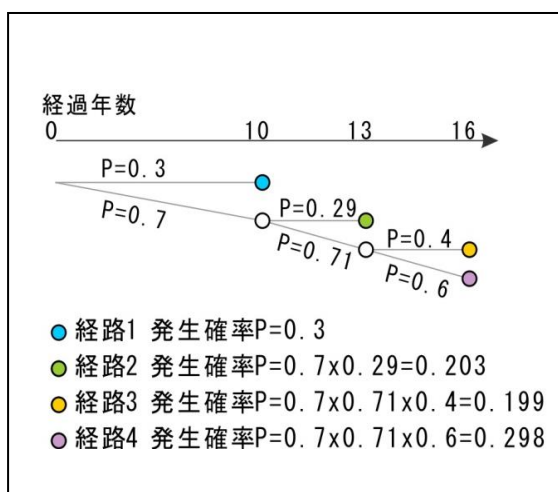
ここでは便器を例として、部品・部材における経年別減失確率と壊れるパターンの推定方法を説明する。表 4-4 の残存率を用い、前述の方法に従って経年別の維持・減失確率を表 4-5 のように推定した。これで、便器がいつ、どのくらいの確率で壊れることと、複数の減失パターン(可能性)があることが把握できた。そして、図 4-10 のように、各経路の発生確率を計算すると、便器が特定の減失パターンの下で壊れる確率が把握できるようになった。

表 4-5 便器の経年別減失確率(本研究作成)

経過年数	10年	13年	16年
残存率	0.7	0.5	0.3
維持確率	0.7	$\frac{0.5}{0.7} = 0.71$	$\frac{0.3}{0.5} = 0.6$
減失確率	0.3	$1 - 0.71 = 0.29$	$1 - 0.6 = 0.4$

○ 残存
● 減失(壊れる、交換される)

図 4-10 各減失パターンの確率(本研究作成)



抽出した六つの改修項目は残存率と交換周期が異なるため、実際の LCC 算出では、それぞれの修繕・交換コストを分けて加算すべきであるが、本研究は計算の便宜上で、「給湯器」・「便器」・「水栓」・「エアコン」の交換周期を一括設定した。そして、照明器具の周期は前述の機器類より長いため、電球消耗の頻度だけを考慮した上で、器具全体の交換費用の 1/10 のコストで、三年ごとに修繕することに設定した。なお、サッシの耐用年数は比較的長く、本研究の設定計算期間 15～21 年を越えるため(3-3-2 と表 3-7 を参照)、今回の計算では交換しないことにした。従って、交換周期を残存・滅失確率に書き換え、表 4-6 のようにまとめた。

表 4-6 本研究において部材・設備の残存・滅失確率に関する設定(本研究作成)

残存率	70%	50%	30%	パラメーター設定	
給湯器	7年	9年	10年	残存率・故障率を一括設定	
便器	10年	13年	16年		
水栓	11年	14年	18年		
エアコン	8年	10年	12年		
照明	14年	17年	22年	3年ごとに修繕	
サッシ	31年	53年	90年	居住期間より長い ため省略	
(データ出典:小松ら, 2000) (エアコンのデータ出典:住宅内のエネルギー消費に関する全国的調査研究, 2001)					
経過年数	9年	12年	15年	18年	
残存割合	0.7	0.5	0.3	0	
滅失割合	0.3	0.5	0.7	1	
推移 確率	残存 滅失	→0.70 →0.30	→0.71 →0.29	→0.60 →0.40	→0.00 →1.00

表 4-6 を用いることで、居住期間にわたり修繕・交換周期の可能性を表 4-7 にもとめた。ここの「不具合で交換」とは、残存率が一括設定された「給湯器」・「便器」・「水栓」・「エアコン」を一斉交換することであり、「修繕」は「照明器具」の電球のみ交換することを指す。

「一年目改修」とは、入居の始めに省エネ改修工事を行い、居住期間の間に不具合で交換せざるを得ない場合には同じ省エネ等級の同等品(あるいは工事項目)で交換するメンテナンス計画(代替案)を指す。計算期間が満了するまでの間に、不確実性の影響などにより二回交換を行う状況もあれば(P1 ルート)、途中で一回交換を行うだけの状況もある(P2、P3、P4、P4)。なお、同じく途中で一回交換するルートでも、物価・金利・技術向上などの変動

により、所要コストの現在価値や得られる効用・改修効果が異なる。一方、「改修なし」とは、計算期間が満了するまでの間に、省エネ改修(省エネ設備や断熱内窓工法など)を一回も行わない、不具合が発生する場合には従来同等品(省エネ効果のないもの)で交換するメンテナンス計画を指す。

表 4-7 居住期間にわたり修繕・交換周期の可能性(本研究作成)

◎省エネ改修実施 ◆不具合での交換(省エネ同等品) ●不具合での交換(従来同等品) ○修繕コストは更新費の1/10								分岐 ルート	LCC	発生 確率	
築後年数	10年目	13年目	16年目	19年目	22年目	25年目	28年目				
入居期間	1年目	4年目	7年目	10年目	13年目	16年目	19年目				
一年目改修	◎ → ○ → ○ → ◆ → ○ → ○ → ○ → ◆ ○ → ○ → ○ → ● → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○								P1	C1	0.09
									P2	C2	0.21
									P3	C3	0.20
									P4	C4	0.20
									P5	C5	0.30
改修しない	● → ○ → ○ → ● → ○ → ○ → ○ → ● ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○ → ○								P1	C1	0.027
									P2	C2	0.063
									P3	C3	0.060
									P4	C4	0.060
									P5	C5	0.090
									P6	C6	0.060
									P7	C7	0.040
									P8	C8	0.040
									P9	C9	0.060
									P10	C10	0.060
									P11	C11	0.040
									P12	C12	0.100
									P13	C13	0.090
									P14	C14	0.210

なお、同等品でも、時間経過とともに値段・性能(特に技術向上)などが変わる可能性があるため、本研究の LCC 評価モデルでは、この値段と性能の変動可能性を、仮定の「効率向上率」と「工事費変動率」で表した。例えば、改修なしのケースでは、不具合で交換の際に、従来同等品を選ぶという計画であるが、時間経過とともに技術向上と購入コスト下落のため、値段が安くなるように設定した。

各分岐ルートにおける LCC は、4-2-1 の計算プロセスに従って算出したものである。例えば、ルート P3 において計算される各時点の諸費用は下表 4-8 のように示されて、それを加算すると P3 ルートの LCC 期待値 C3 となる。

表 4-8 LCC 計算に入る各時点の諸費用の一例(一年目改修、P3 ルート)

経過年数	1 年目	4 年目	7 年目	10 年目	13 年目	16 年目	19 年目
光熱水道費	○	○	○	○	○	○	○
改修工事費	○						
交換工事費					○		
修繕工事費		○	○	○		○	○

そして、各 LCC の加重平均値を算出すると、該代替案の LCC 期待値となる。表 4-7 の代替案「一年目改修」では、LCC 期待値は下式で算出する：

$$\text{LCC 期待値} = C1 \times 0.09 + C2 \times 0.21 + C3 \times 0.2 + C4 \times 0.2 + C5 \times 0.3$$

4-2-3 決定時点の選択に対する分析方法

DCF(Discount Cash Flow)法を用いた LCC 計算は、「意思決定時点において決定が択一的」であるため、不確実性が存在する将来の変化状況に対する適応性・柔軟性が欠如しており、「静的評価」であると指摘された¹³⁵。そのため、本研究は、提案の保留がもたらす時間的オプション価値を分析する ROA(リアル・オプション分析)手法を参考にし、その概念を既存の LCC 計算に組み込んだ。

代替案のオプション価値には、本質的価値と時間的価値がある。住宅の改修・改築などの代替案における本質的価値とは、改修・改築行為を通じて、居住ニーズや期待効用を満足することである。その一方、目的により異なるが、代替案を保留する際にもオプション価値がある。例えば、光熱費を削減するために、今ある省エネ改修案の実施可否を検討しているとする。光熱費削減効果の見込みがある場合には、現時点で改修案を実施しても良いが、決定を先送りして、将来にある代替案を期待することも悪くない。この際には、技術革新による、光熱費削減効果や、工事費の変動を考慮する必要がある。このように、決定の保留によりさらに効用・利益をもたらすことは、時間的オプション価値とよぶ。

住宅の改修・改築における意思決定問題では、時間的オプション価値を含めて総合的に考慮する必要があるため、代替案の実施可否の判断に対して、本研究では以下のように検討する：

135 William Fawcett, Martin Hughes, Hannes Krieg, Stefan Albrecht, Sustainable construction projects: case study of flexible strategies for long-term sustainability under uncertainty, Building Research & Information research paper, 2012

図 4-11 が示したように、代替案の実施時点は T1、T2、T3 があるとする。まずは、「T1 改修」の LCC 期待値と「T1 保留」のオプション価値を比較し、T1 時点における実施可否を判断する。数値が小さい方がコスト節約効果が高いため、より良い選択肢であると考えられる。なお、「T1 保留」を選ぶことは、T2 時点において「T2 改修」と「T2 保留」、二つの選択肢を選択する権利を選択することと同等である。即ち、「T1 保留」のオプション価値は、「T2 改修」の LCC 期待値と「T2 保留」のオプション価値により決められる。そのため、T1 時点での改修は、「T1 改修」LCC 期待値が、「T1 保留」LCC 期待値・「T2 改修」LCC 期待値・「T2 保留」オプション価値より大きい場合のみ、実施するものと考えられる。

しかし、「T2 保留」オプション価値は「T3 改修」LCC 期待値と「T3 保留」オプション価値により決められるため、T3 時点の改修 LCC 期待値と保留 LCC 期待値が分からないと、T1 時点での実施可否判断が不可能である。従って、この相関関係を解明するため、最初は「T3 改修」と「T3 保留」における LCC 期待値の計算からさかのぼり、T3→T2→T1 の順番で LCC 期待値を算出して比較してから、各時点での実施可否を判断する。この遡及的計算方法は、ROA 手法における 4 段階計算プロセスの中、第 3 段階の計算原理(第 3-2-2 節を参照)と同様である(図 4-11 左)。

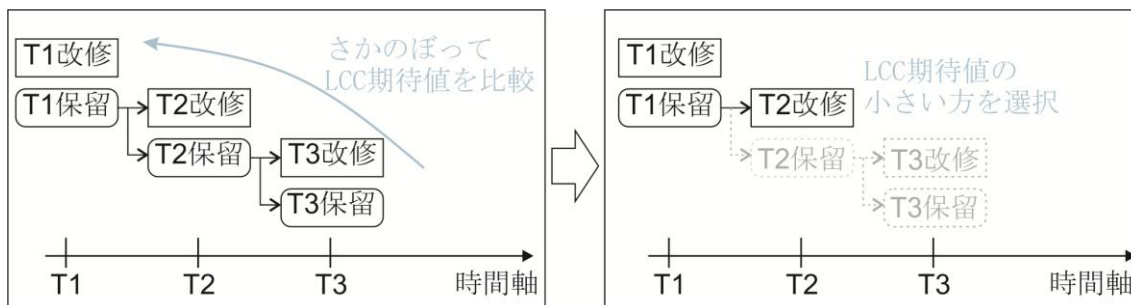


図 4-11 各時点における改修実施の可否判断方法

ここで注意すべきは、改修という選択は不可逆であるため、実施するという判断を一旦下したら、その後の保留・改修の選択肢は、同時に損失する(図 4-11 右)。

一般の LCC 評価では、将来の状況に対する想定条件が単一パターンで設定されたことが多いため、状況の変化に対する適応性が欠如していると指摘された。現実では、不確実性が存在するため、将来の変動の可能性が複数有り、単一パターンではない。その変動に対して、如何に LCC 評価を行い、適応性のある意思決定方針を導くかが重要であると考えられる。本研究は、これらの問題に対し、以下のように検討する：

1. イベント・ツリーの作成。

将来の想定状況とその変動パターンを、イベント・ツリーで作成する。将来における物価の上昇・利率率の推移・工事費用の低減などの変動状況を仮定して、想定イベント 1 とする。一般の LCC 評価では想定イベント 1 のみで計算するケースが多いが、現実では時間の経過とともに他のイベントが想定される可能性がある。本研究ではその可能性をイベント 2・イベント 3 として、イベント 1・2・3 の間に、相互に変化する可能性を確率値で仮定し、下図 4-12 のようなイベント・ツリーを作る。

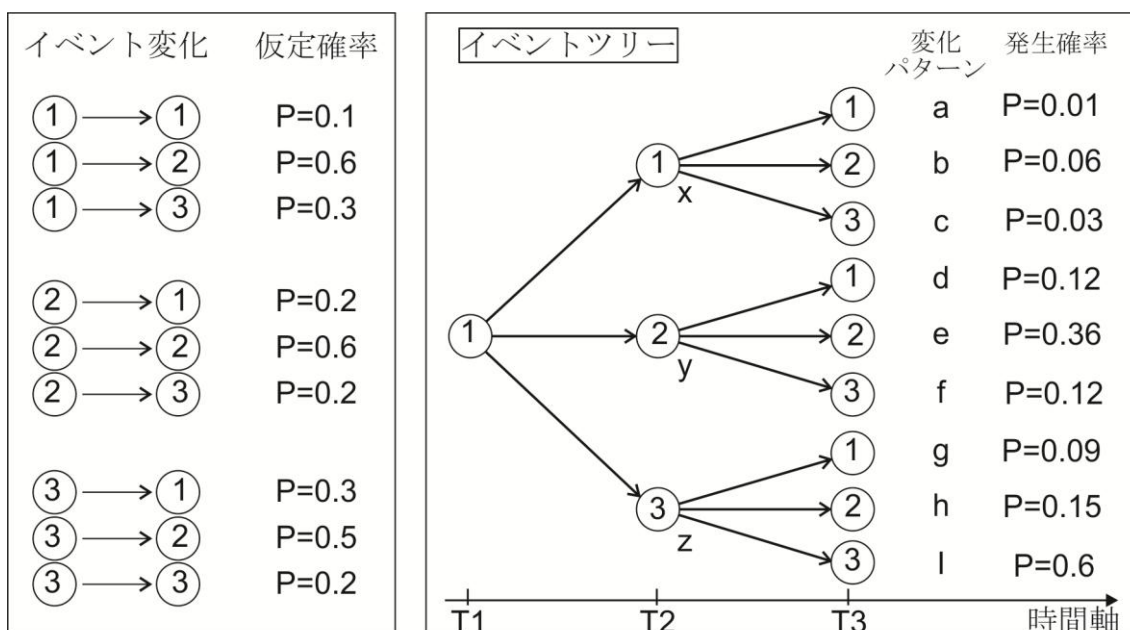


図 4-12 イベントの仮定とイベント・ツリーの作成

なお、ここに示すイベント 1・2・3 における想定条件および発生確率は、過去の生起事象や統計データを参考した上で設定されるものである。より信頼性の高い予測を得るために、如何に過去のデータを用いて想定条件を設定するかが重要であるが、その設定方法に関しては、更に他分野(金融・会計など)との学際的分析の領域に入るため、今回は想定条件の設定に関する方法論自体についての議論は保留した。

2. 各時点における「改修 LCC 期待値」、「保留 LCC 期待値」の算出

このイベント・ツリーを前提として、前述した、遡及的計算方法にて、T3 から各変化パターン下で各時点における「改修 LCC 期待値」、「保留 LCC 期待値」を逐一算出する。例えば、将来の変化はパターン b(1→1→2)のように発生する場合、その変化の状況を想定条件として、第 4-2-1 節の一連の計算式に代入すると、パターン b の下での「T3_b 改修 LCC 期待値」と「T3_b 保留 LCC 期待値」が得られる(図 4-13 左)。そして「T3_a 改修」・「T3_b 改修」・「T3_c

改修」の加重平均値を求めると、T3 時点での「 $T3_x$ 改修 LCC 期待値」となり、「 $T3_a$ 保留」・「 $T3_b$ 保留」・「 $T3_c$ 保留」の加重平均を求めると、前時点の「 $T2_x$ 保留 LCC 期待値」となる。(図 4-13 右)なお、同様の遡及的計算で、T2 時点での「 $T2_x$ 改修 LCC 期待値」は、「 $T2_a$ 改修」・「 $T2_b$ 改修」・「 $T2_c$ 改修」の LCC 期待値の加重平均値となる。

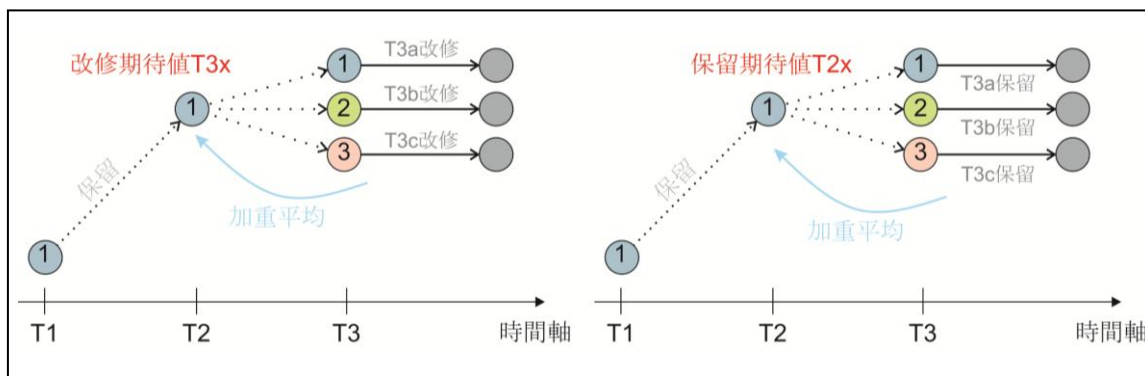


図 4-13 T2 時点における改修・保留 LCC 期待値の算出

3. 各決定時点における実施可否判断

T3 時点において改修の実施可否は、「 $T3$ 改修 LCC 期待値」と「 $T3$ 保留 LCC 期待値」との比較を通じて判断する。T2 時点における実施可否は、前述の方法の通りに行く。例えば、もし「 $T2_x$ 改修 LCC 期待値」が、「 $T2$ 保留 LCC 期待値」・「 $T3_x$ 改修 LCC 期待値」より小さいのであるならば、「実施可能(改修)」となり、それ以外の結果なら「保留」となる(図 4-14)。

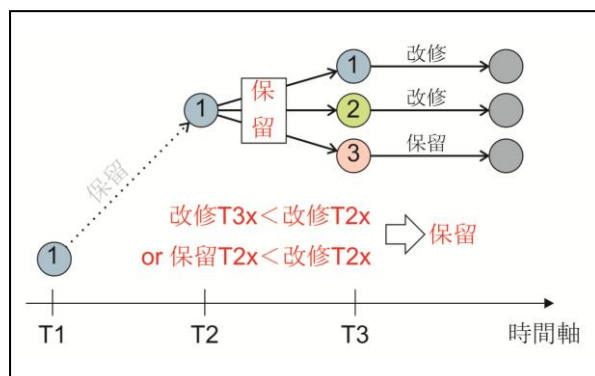


図 4-14 T2 時点における実施可否判断

4. デシジョン・ツリーの作成

以上の手順に従えば、デシジョン・ツリーが完成する(図 4-15)。このデシジョン・ツリーを利用すると、将来の不確実な変化に適応した各時点における最適行動が判明できるようになる。

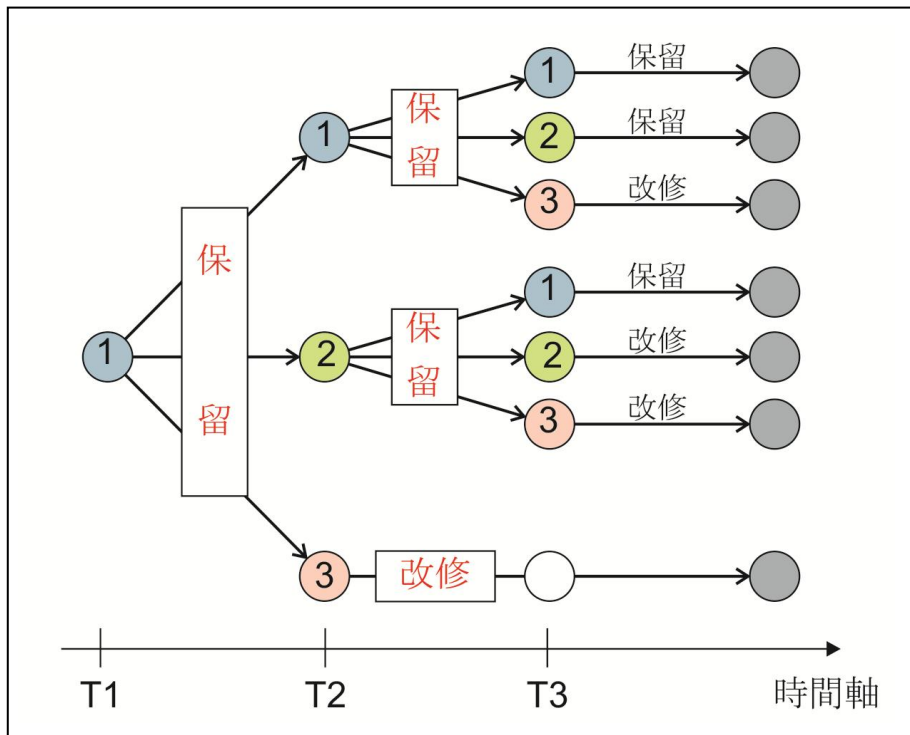


図 4-15 デシジョン・ツリー：不確実な変化に適応した最適行動

第五章 省エネ改修工事にかかわる不確実性に関する考察

5-1 不確実性にかかわる説明変数およびパラメーター

本研究では、ある条件下の物件に対する異なる省エネ改修代替案を比較することで、提案した意思決定過程モデルの有用性を検証する。本章では、第6章のケーススタディのベースとなる、想定条件のパラメーターに関して、記述する。本章より、具体的な数値を挿入し、提案するプロセスと評価手法の検証を行う。提案モデルは、不確実性下の代替案の改修効果に関して、二項確率分布過程を用い、想定した条件の下でLCC期待値を算出する。LCC期待値の算出には、各時点でのコストの計算が必要であり、その算出式は、第四章にて、以下のように定義した：

光熱費：

$$A_{n'm'} = A(Ku)^{(n' - m')} (Kd)^{(m' - 1)} \quad \text{その中}(n' < s) \dots\dots \text{式 4-5-1}$$

$$A_{nm} = AW_{(s)}(Ku)^{n-m} (Kd)^{m-1} \quad \text{その中}(n \geq s) \dots\dots \text{式 4-5-2}$$

$$W_{(s)} = E_e S_e^{s-1} + E_w S_w^{s-1} + E_g S_g^{s-1} \quad \dots\dots \text{式 4-6}$$

改修工事費：

$$B_s = BF^{s-1} \quad \dots\dots \text{式 4-7}$$

格子 T_{nm} コスト現在価値：

$$C_{nmpv} = \frac{M_{nm}}{R_{nm}} = \frac{A_{nm} + B_s}{R_{nm}} \quad \dots\dots \text{式 4-8}$$

上述のLCC計算式に使われる説明変数とパラメーターは、大まかに3種類に分けられる：

1). 実データにより設定された説明変数：実例あるいは統計調査などのデータにより検討されたものであり、異なるユーザーや代替案により変わるものである。計算式の中には：A：現時点光熱水道費、B：現時点改修工事費が該当する。E：現時点省エネ率（E_w:水道、E_e:電気、E_g:ガス）も該当するが、その設定については5-3節にて詳述する。

2). 不確実性を表すパラメーター：将来の変動を想定した上で、実例などのデータから推定されたもの（あるいは仮定されたもの）である。特定の想定条件下は常数であるが、異なる想定パターン次第で調整できる数値である。計算式の中には：K：光熱水道費上昇率、W：省エネ効率修正係数、S：効率向上率、F：工事費変動率、uとd：変動率（Volatility）、割引率(利子率)Rが該当する。

第三章の分析により、本研究が扱った不確実性は、「物価変動」・「金利変動」・「部品・設備交換周期の変動」・「美術革新・効率改善」である。なお、既往研究との相違比較に基づいて、不確実性に関するパラメーターの設定は、下表 5-1 となる。その中、工事費変動率 F、効率向上率 S は、一般手法と同じく固定値で設定された。部品・設備交換周期の変動の設定理由は 3-1-3 と 4-2-2 節で詳述したが、他の説明変数の設定理由は、後節で詳述する。

表 5-1 本研究が扱った不確実性に関する設定方法(一般手法との相違比較)

不確実性		本研究		一般手法	
◆物価変動	光熱費	上昇率(K)	固定値 複数パターン	インフレ率	固定値
		変動率(u, d)			
	工事費	変動率(F)	固定値	変動率	固定値
◆金利変動	割引率	変動値(R)	複数パターン	固定値	複数パターン
◆部品・設備交換周期の変動		交換時点	複数可能性	交換時点	単一可能性
		劣化曲線	複数パターン	劣化曲線	単一パターン
◆技術革新・効率改善		向上率(S)	固定値	向上率	固定値
一般手法と同じ設定					

3).意思決定にかかわる変数：ユーザーの特性や選好志向を反映するものである。計算式の中の s : s 年目(改修時点)が該当する。

信頼性のある計算結果を出すためには、上述のパラメーターの設定を慎重に検討しなければならないため、それらについて、5-2 節から 5-4 節にて詳述する。

5-2 光熱水道費に関する考察

運用・維持費用である光熱水道費に関して、LCC 計算式にかかわる変数は：

- 1).実データにより設定された説明変数：A：現時点光熱水道費
- 2).不確実性を表すパラメーター：K：光熱水道費上昇率、W：省エネ効率修正係数、
- 3).意思決定にかかわる説明変数：世帯人員数

本研究は、総務省統計局・家計調査における過去 25 年の統計結果に基づき、世帯別・一世帯当たりの年平均光熱・水道支出を推定した。(表 5-2、付録 2 を参照)

表 5-2 一世帯当たり、年平均光熱・水道支出の推定値(摘要・本研究作成)

年次	一年間の支出(単位：円)			
	単身世帯	夫婦二世帯	夫婦+子供三世帯	高齢世帯
2011	130,539	256,615	307,938	244,556
2012	132,135	259,342	311,210	248,157
2013	133,732	262,069	314,483	251,758

本研究は「幼児のいる 30 代夫婦」の世帯構成を対象に、2013 年を計算の初年度とした。そして、変数の入力値「A：現時点光熱水道費」、すなわち、世帯当たりの年平均光熱水道費は 31.4 万/年と推定された。

過去の家計調査の統計データにより、推定された光熱水道費の年平均上昇率は以下となる：(付録 2 を参照)

1990～2010 年、光熱費の年平均上昇率=1.5%

1990～2000 年、光熱費の年平均上昇率=2.1%

2000～2010 年、光熱費の年平均上昇率=0.9%

この推定結果により、パラメーター：「K：光熱費上昇率」は 0.9%～2.1%で設定することがより現実状況と合うと考えられる。したがって、本研究は 1.5%を参考基準として K を設定した。それに、不確実性を考慮した上で変動率 u と d を仮定し、さまざまな想定条件を設定した(第六章を参照)。

家計調査の統計結果により、世帯当たり一か月の光熱水道費と構成の内訳は下表 5-3 となる：(詳細は付録 2 を参照)

表 5-3 光熱水道費構成の内訳 (単位：円) (摘要、出典：総務省統計局・家計調査)

年次		2009	2010	2011	
		月平均	月平均	月平均	
光熱・水道料金		21,605	21,951	21,954	<p>電気代 44% ガス代 27% 上下水道料 23% 他の光熱 6%</p>
内訳	電気代	9,574	9,850	9,591	
	ガス代	5,749	5,514	5,449	
	他の光熱	1,270	1,537	1,833	
	上下水道料	5,012	5,049	5,081	
世帯人員		3.10	3.09	3.08	構成の割合(本研究作成)

異なる世帯人員数により、内訳の相違が多少存在するが、この統計から推定された光熱水道費構成の割合は、下式となる：

式 5-1：光熱水道費構成の割合

$$\text{光熱水道料金} = \text{電気代} \times 0.44 + \text{水道料} \times 0.2 + \text{ガス代} \times 0.36$$

前述の式 4-6 の省エネ効率修正係数 $W_{(s)}$ は、電気・水道・ガス、三つの修正係数で合成したものである。それぞれのエネルギー節約分は、全体光熱費構成の割合と正比例関係であるため、上述の式 5-1 と比較すると、省エネ効率修正係数 $W_{(s)}$ の算式は以下となる：

$$W_{(s)} = 0.44 \times E_e S_e^{s-1} + 0.2 \times E_w S_w^{s-1} + 0.36 E_g S_g^{s-1} \quad \dots\dots \text{式 5-2}$$

その中、 E_e (電気)は第 5-3-2 節、 E_w (水道)は 5-3-3 節、 E_g (ガス)は 5-3-4 節にて詳述する。

5-3 省エネ改修の事例と改修効果に関する考察

本研究では、改修代替案の改修効果をコスト尺度で評価するため、各改修項目における省エネ効果を考察する必要がある。本節では、政府統計資料あるいは各社の公表データに基づき、入力説明変数とパラメーターを検討する。

5-3-1 項目別における改修工事費と現時点省エネ率

省エネ改修に関して、LCC 計算式にかかわる変数は：

- 1). 実データにより設定された説明変数：B：現時点改修工事費、E：現時点省エネ率
- 2). 不確実性を表すパラメーター：S：効率向上率

ここでの省エネ率とは、改修後と改修前のエネルギー使用量の割合である。

省エネ改修における構法や材料などは多数あるが、専有部分と共用部分の区別により改修制限があるマンションにとって、選択できる構法と改修部位は絞られている。そのため、マンションをケーススタディの対象した本研究では、実務上よく行われる工事項目を抽出して省エネ効果を検討する：

- a). サッシ断熱改修：インナーサッシの設置とガラスの交換を通じて断熱性を高める。断熱性の異なる三種類の「代替案」における、それぞれの断熱（省エネ）効果を検討する
- b). 節水便器変更：従来の便器と新型の便器に関する節水効果を検討する。
- c). ユニットバス変更：ユニットバスに変更する前提で、保温型浴槽による省エネと節水シャワー水栓の追加設置による節水省エネ効果を検討する。
- d). ガス給湯器交換：熱交換率の異なる三種類の「代替案」における省エネ効果を検討する。
- e). エアコン交換：効率の異なる新旧の「代替案」における節電効果を検討する
- f). 照明器具交換：従来タイプと省エネタイプにおける節電効果を検討する。

本研究は、リフォーム会社「I社」のデータベースを参照し、上述の工事項目を見積もった（詳細は付録3を参照）。その見積もりに基づき、選定した各項目の工事費を加算すると、「B：現時点改修工事費」となる。LCC 計算式に使われる各項目の工事費および現時点省エネ率を表5-4でまとめている。なお、省エネ率の設定は考察結果から推定されたものであるため、実際にプロジェクトを検討する際にデータの信頼性や限界についてより一層深く議論する必要があり、それを今後の研究課題とする。そして、代替案の組合せは第六章で詳述する。

表5-4 各省エネ改修工事項目における現時点改修工事費と省エネ率(本研究作成)

改修工事項目		省エネ率 (削減分)	レベル	改修代替案	工事費 (万円)	
a	窓断熱改修	E_{ea}	0%	0	a-0 既存品継続使用	0
			8%	1	a-1 Y社インナーサッシ	38
			10%	2	a-2 Y社インナーサッシ	46
			15%	3	a-3 Y社インナーサッシ	57
b	エアコン交換	E_{eb}	0%	0	b-0 既存品継続使用	6
			60%	1	b-1 P社製品三台交換	30
c	照明器具交換	E_{ec}	0%	0	c-1 白熱灯+蛍光灯	0
			60%	1	c-2 LED	6
d	節水便器交換	E_{wd}	0%	0	d-0 既存品継続使用	0
			60%	1	d-1 T社製品交換	18
			70%	2	d-2 T社製品交換	28
e	ユニットバス改修	E_{we}	0%	0	e-0 追加しない	0
			50%	1	e-1 P社節水シャワー水栓追加	1
f	ガス給湯器交換	E_{gf}	0%	0	f-0 既存品継続使用	0
			20%	1	f-1 N従来型のガス給湯器交換	15
			37%	2	f-2 N潜熱回収型給湯器交換	27

*省エネ率：改修後と改修前のエネルギー使用量の割合

5-3-2 省エネ：節電

光熱水道費の削減効果は、「E：現時点省エネ率」と「S：効率向上率」の説明変数で決められる。代替案により $E_e \cdot S_e$ (電気)、 $E_w \cdot S_w$ (水道)、 $E_g \cdot S_g$ (ガス)の数値が異なる。まずは E_e (電気)の部分について説明する。改修工事項目により、電気代節約分は異なるため、用途別で電気消費量の割合を把握しなければならない(図5-1)。

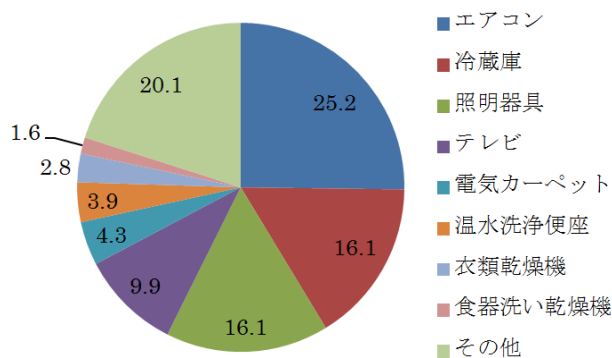


図 5-1 家庭内の主な電気消費量の割合
(データ出典:省エネルギーセンター、2011)

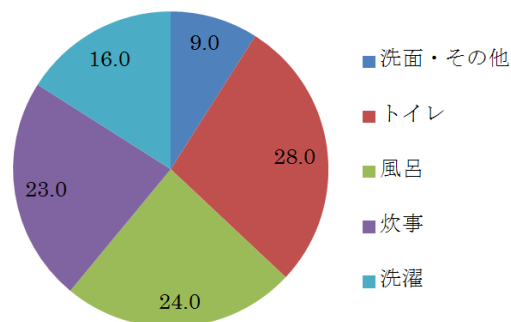


図 5-2 目的別家庭用水使用量の割合
(データ出典:国交省、水資源局水資源部、2006)

電気代節約分は、使用用途と正比例関係であると想定した上で、本研究では下式のように「 E_e : 現時点省エネ率(電気)」を設定する :

$$E_e = 0.25 \times E_{ea} \times E_{eb} + 0.16 \times E_{ec} + 0.59 \quad \dots\dots\text{式 5-3}$$

そのうち、 E_{ea} はサッシ断熱改修、 E_{eb} はエアコン交換、 E_{ec} は照明器具交換、それぞれの省エネ率である。

E_{ea} 窓断熱改修 :

マンションの共用部分における改修は、管理組合の規約に従わなければならないため、本研究は内窓の設置を改修提案として、省エネ改修後の LCC をシミュレーションする。内窓工事は専有部分の範囲に属するため、特に規約に禁じられることはない。また、施行性に優れ、断熱効果も高いため、マンションではよく採用される構法である。窓の種類・サッシとガラスの材料・外窓と内窓の間隔など、内窓の構成要素は多数あるので、組立て方により断熱効果が異なる。既往研究において、内窓の設置がもたらす断熱効果に関する実験・実測研究が多いが、構法・寸法・材料のみを抽出して効果を比較した文献は、少なく、個別の要因にがもたらす効果を推測する方法があまりない。

内窓の断熱効果に関して、日本で行った研究は表 5-5 でまとめた。これらの研究により、異なる構法および条件がもたらす断熱効果に相違があり、そのバラツキも大きいことが把握された。それに、同じ構法でも、部屋の広さ・方位などの条件により、断熱効果の相違が大きいため、事前の効果予測が困難であることが分かった。

今回の研究では、効果予測を議論せず、YKK ap 株式会社の商品情報¹³⁶に基づいて断熱効果を仮定することにしたが、LCC 評価モデルの実用性を向上させるために、断熱効果に

136 YKK ap 株式会社、<http://www.ykkap.co.jp/products/reform/plamadou/simulation/>、

関して、如何により信頼性の高い情報を取得することは今後の課題であると考えられる。

窓断熱改修における省エネ効率 E_{ea} 以下のように設定する：(詳細は付録4を参照)

a-0 Y社インナーサッシ：現時点省エネ率=0%

a-1 Y社インナーサッシ：現時点省エネ率=8%

a-2 Y社インナーサッシ：現時点省エネ率=15%

表 5-5 内窓の断熱効果に関する研究の比較(本研究作成)				改修効果		
題名・研究対象	既存外窓仕様	内窓仕様	改修部位	暖房期間	冷房期間	
早津ら ¹³⁷ RC造集合住宅の省エネルギー改修に関する研究(その1、その2)				12/01~3/31	計測なし	
RC造集合住宅 東京都荒川区 改修延床：40m ²	アルミサッシ 単板ガラス	樹脂サッシ 単板ガラス	腰窓 x 1(西) 腰窓 x 1(東) 掃出し窓 x1(東)	暖房削減(推定) 18.4→15.3千円 17%削減		
坂本ら ¹³⁸ 東京大学・本部棟における窓断熱改修の効果検証(その1、その2)				1/16~2/13	計測なし	
東京大学・本部棟				電力削減(実測)		
東大校舎本部棟 東京都文京区 改修延床：550m ² 改修窓：106m ²	スチールサッシ 単板ガラス	間隔 170mm 樹脂サッシ 単板ガラス ブラインド設置	腰窓(南1室) 腰窓(西2室) 腰窓(北2室) 腰窓(東2室) フロア全体	60% 46.8%と 29.7% 0.1%と 58.1% 27.80% 43.10%		
津田ら ¹³⁹ 温熱環境改善を目的とした開口部に設置する断熱内戸に関する研究				年間冷暖房費用削減(推定)		
中村ら ¹⁴⁰ 既存住宅の開口部に設置する断熱内戸に関する研究				29千円/年(4人世帯で算出)		
RC造集合住宅 改修延床：88m ²	アルミサッシ 単板ガラス	内窓(はめ込み) 木材 シリカエアロゲル	腰窓 x 1(北) 腰窓 x 1(南) 掃出し窓 x1(南)	計測なし	8/15~9/4 電力削減(実測) 一日平均 17% 10~15時は 30%	
持留ら ¹⁴¹ 窓断熱改修による温熱環境改善および冷暖房エネルギーの削減				1/25~2/7	8/5~8/18	
京大校舎(RC造) 京都市西京区 4階建て				電力削減(実測)	電力削減(実測)	
	スチールサッシ Low-e 複層ガラス	樹脂サッシ 単板ガラス	腰窓(南)	80.8Wh→84Wh -4%	1500Wh→1300Wh 13.30%	
	スチールサッシ 単板ガラス	樹脂サッシ Low-e 複層ガラス	腰窓(西)	24℃→24.9℃	30.1℃→29.8℃	

地域は「神奈川」、住宅は「マンション」で入力

137 早津隆史、松嶋加奈、石崎竜一、桑沢保夫、齋藤宏昭、瀬戸裕直、坂本雄三、澤地孝男、RC造集合住宅の省エネルギー改修に関する研究(その1、2)、学術講演梗概集、p43-46、2009

138 坂本雄三、赤嶺嘉彦、河野匡史、東京大学・本部棟における窓断熱改修の効果検証(その1、その2)、学術講演梗概集、p209-212、2009

139 津田晃宏、須永修通、大塚弘樹、一坊寺英夫、温熱環境改善を目的とした開口部に設置する断熱内戸に関する研究、学術講演梗概集、p455-456、2010

140 中村美保子、須永修通、大塚弘樹、一坊寺英夫、既存住宅の開口部に設置する断熱内戸に関する研究、学術講演梗概集、p569-570、2011

141 持留崇志、鈴木修一、高村正彦、鈴木淳、窓断熱改修による温熱環境改善および冷暖房エネルギーの削減、日本建築学会近畿支部研究報告集、p329-336、2011

E_{eb} エアコン交換：

エアコンは、技術向上とともに省エネ性能が年々進化している。下表 5-6 は、日本冷凍空調工業会のデータにより作成したもので、2012 年と 2003 年の製品が年間で消費する電力量（期間合計の消費電力平均）の推移である¹⁴²。この推移により、2012 年の製品は 2003 年の製品より 11%電力消費を節約できることが分かった。そして、2000 年以前は、技術向上とともに、毎年 13%~3%の効率が上げられているが、2000 年以後は、効率が毎年 5%~0%と緩やかに向上していることが分かった。（前年よりマイナス時もある。（付録 5 を参照）

表 5-6 エアコン使用期間と消費電力の推移(本研究作成、データ出所：日本冷凍空調工業会)

製造年	冷房期間	暖房期間	総計	電力消費比	効率上昇率	劣化率(推定)
2003	242(kWh)	721(kWh)	963(kWh)	1	0%	50%
2012	214(kWh)	632(kWh)	846(kWh)	0.88	12%	0%

経年劣化のため、エアコンの運転効率は年々下降する。エネデュースの実測データにより、購入後最初の五年間には毎年 4%くらいで、五年~十年間には 5%くらい効率が下がるが、十二年を超えると効率が急激に悪くなる（図 5-3）。¹⁴³本研究の対象は築後 10 年のマンションのため、比較基準は 2003 年のエアコンとした。この図により、10 年前後利用したエアコンは、効率が 50%程度劣化してしまっていることが分かった。

本研究では、エアコンの効率劣化と技術向上を一緒に考慮する上で、エアコン交換における省エネ効率 E_{eb} を以下のように設定する：

b-0 既存品継続使用：現時点省エネ率=0%

b-1 P 社製品交換：現時点省エネ率=60%(既存品効率劣化 50%+新製品 10%効率向上)



図 5-3 エアコンの劣化と消費電力の推移（データ出所：エネデュース）

142 日本冷凍空調工業会、<http://www.jeiu.or.jp/common/pdf/shohi-denryoku-suii.pdf>

143 エネデュース、<http://www.eneduce.net/keinenrekka/index.html>

E_{ec} 照明器具交換：

照明器具の発展はこの30年間には長足の進歩がある。ランプ本体や点灯回路などの改良により、消費電力がより少ない、効率のより高い照明器具が次から次へと市場に登場してくる。同様の光の総量・lm(全光束・ルーメン)を得るために必要となる消費電力に関して、現在の蛍光灯は1990年の製品より24%以上の電力削減が可能である(図5-4)¹⁴⁴。さらに、LEDは1996年以降、長寿命・省電力で、小型化でデザインにやすく、メンテナンスが軽減できるなどの長所により注目されている。

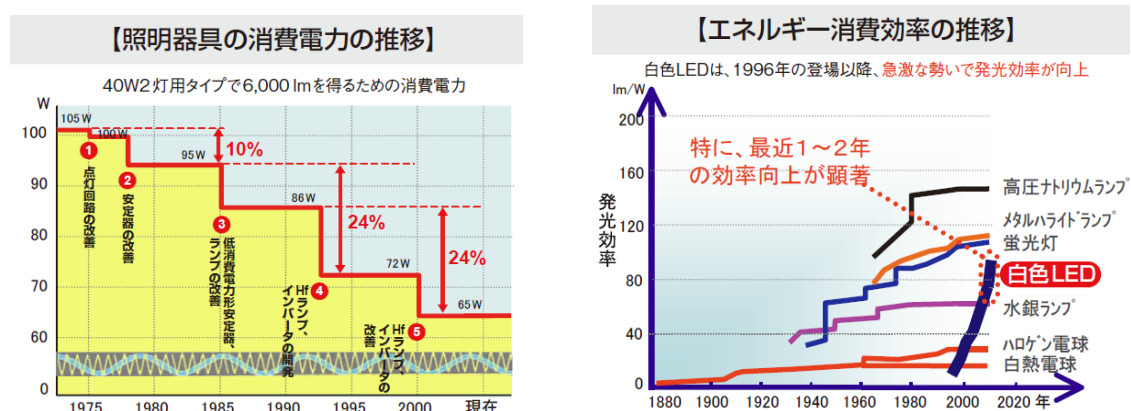


図5-4 照明器具における消費電力と発光効率の推移(出典：日本照明器具工業会)

本研究は、1). 従来型の白熱電球や蛍光灯使用と 2). LED 照明器具使用、二つの改修案を比較する。リフォーム会社「I社」のデータベースに基づいて各室に相当と考えられる器具を設定した結果、それぞれの改修案の照明総計消費電力は：1). 従来型：523W と 2). LED 器具使用：201W となる(付録を参照)。その上で、照明器具交換における省エネ効率 E_{ec} は以下のように設定する：

c-1 白熱灯+蛍光灯：現時点省エネ率=0%

c-2 LED：現時点省エネ率=60%=(523 - 201) ÷ 523

5-3-3 節水

改修工事項目による水道料の節約分は、使用用途と正比例関係であると想定した上で、本研究では下式のように「 E_w ：現時点省エネ率(水道)」を設定する：(図5-2を参照)

$$E_w = 0.28 \times E_{wd} + 0.24 \times E_{we} + 0.48 \quad \dots\dots \text{式 5-4}$$

そのうち、 E_{wd} は節水便器交換、 E_{we} は節水シャワー水栓追加、それぞれの省エネ率である。

144 日本照明器具工業会、次世代半導体照明(SSL)成長戦略、<http://web-honbu.jimu.nagoya-u.ac.jp/fmd/5skannrika/sisetukannri/sisetukannritorikumi/keikoutou/syomei.pdf>

E_{wd} : 節水便器交換

1976年に初めて「節水便器」が作られたが、日本衛生設備機器工業会の資料では、2012年10月まで日本全国の6L節水型便器の普及率は13%程度とみており¹⁴⁵、また、TOTOサニテクノ株式会社の資料では¹⁴⁶、1990前半から2000前半まで市場上の主流は13Lであると提示されている。本研究の対象は築後10年のマンション(約2000年前半)のため、用水量13Lの従来品を比較基準として、現時点省エネ率(節水率) E_{wd} は以下のように設定する：

d-0 既存品継続使用：省エネ率=0%

d-1 T社製品交換：用水量13L->5L、現時点省エネ率=60%

d-2 T社製品交換：用水量13L->4L、現時点省エネ率=70%

E_{we} : 節水シャワー水栓追加

Panasonic株式会社の商品における公表データにより、節水シャワー水栓を使用する場合、年間48%の用水量が削減できる。¹⁴⁷(家族4人、毎日「からだ洗い」と「おふろ洗い」の条件で算出)住まい手が節水意識を持つことを想定した上で、本研究における現時点省エネ率(節水率) E_{we} は以下のように設定する：

e-0 既存品継続使用：現時点省エネ率=0%

e-1 節水シャワー水栓追加：現時点省エネ率=50%

5-3-4 節ガス

日本では、家庭の調理、給湯などの用途を区分したガス消費量の調査や実測はあまりないが、資源エネルギー庁の調査からは¹⁴⁸、ガスをエネルギーとして使われる機器の中、温水機器と調理機器における消費量は、それぞれ全体の23.7%、8.3%を占めていることが分かる(図5-5)。本研究では、ガスを使用する機器は給湯器とガスコンロのみで想定し、このエネルギー消費量のシェアに基づき、「 E_g : 現時点省エネ率(ガス)」を以下のように設定する：

$$E_g = 0.74 \times E_{gf} + 0.26 \quad \text{.....式 5-5}$$

そのうち、 E_{gf} は給湯器交換交換に関する省エネ率である。

145 日本衛生設備機器工業会、トイレナビ、<http://www.sanitary-net.com/faq/answer99>

146 TOTO、4.8L洗浄便器・環境負荷軽減に貢献する節水便器、2012、<http://www.toto.co.jp/company/press/2012/01/pdf/20120130.pdf>

147 Panasonic、<http://sumai.panasonic.jp/bathroom/cococino/concept/w-shower.html>

148 資源エネルギー庁、平成22年度省エネルギー政策分析調査事業「家庭におけるエネルギー消費実態について」、http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/save03/h22_bunsekityosa.pdf

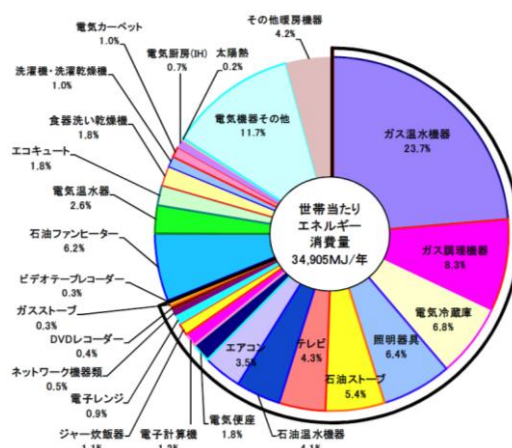


図 5-5 2009年家庭部門世帯当たりエネルギー消費量 (出典：資源エネルギー庁)

同量のお湯を得るためのガス消費量は、燃焼効率の異なる給湯器より異なるため、実際のガス消費量を求める算式は以下となる：

$$\text{実際ガス消費量} = \text{需要ガス量} \times \text{熱効率(エネルギー消費率)}$$

建築環境・省エネルギー機構は、地域区分の影響要素を含めて従来型と高効率の給湯器における比較を行い、給湯設備の一次エネルギー係数を推定した(表 5-7)¹⁴⁹。各社商品の間には多少相違があるが、その結果により、潜熱回収型の瞬間式ガス給湯器は、従来型より 17%近く効率が上回ることが分かった。(関東に属するIVa地域区分のデータより、 $(1.36 - 1.13) \div 1.36$ で算出)

表 5-7 給湯設備の一次エネルギー係数(出典：建築環境・省エネルギー機構)

	I a	I b	II	III	IVa	IVb	V	VI
ガス瞬間式(従来型)	1.38	1.37	1.37	1.36	1.36	1.36	1.36	1.37
ガス瞬間式(潜熱回収型)	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.14	1.14	1.17
石油瞬間貯湯式	1.44	1.42	1.38	1.36	1.34	1.32	1.30	1.31
石油瞬間式(従来型)	1.40	1.37	1.34	1.33	1.30	1.28	1.27	1.27
石油瞬間式(潜熱回収型)	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.15
電気温水器(ヒーター式)	3.57	3.59	3.62	3.61	3.63	3.65	3.67	3.75
電気温水器(ヒートポンプ式)				回帰式より計算				

※赤字は各地域区分における標準機器

本研究の対象は築後 10 年のマンション(約 2000 年前半)のため、既存の給湯器は従来型の瞬間式ガス給湯器と想定する。省エネ改修は、「従来型の給湯器を更新する」と「排気熱・

149 建築環境・省エネルギー機構、住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説、6 章給湯設備のエネルギー消費量に関する評価方法

潜熱回収型の給湯器に交換する」二つを提案する。経年劣化のため燃焼効率が下がると想定した上で、本研究における現時点省エネ率(節ガス率) E_{gf} の設定は：

f-0 既存品継続使用：現時点省エネ率=0%

f-1 従来型の給湯器交換：現時点省エネ率=20%

f-2 潜熱回収型給湯器交換：現時点省エネ率=37% (20%+17%)

5-3-5 効率向上率

将来の技術更新により、電気・水道・ガスの消費量は新製品を使用することで削減できると期待されており、本研究はその技術向上の程度を「効率向上率」で想定する。技術革新により、将来の変化状況の可能性が三つあると考えられる：

- 1.性能・効率が一定であるが、コストが安くなる。
- 2.性能・効率がどんどん良くなる。
- 3.新しい方法が出現し、性能・効率が大幅に向上する。

技術向上とコスト変化と関連しているが、今回は、エアコンなどの機器における発展過程を考察した結果により、効率向上の推移は不規則であり、その影響で連動されたコストの推移データから両者の関連性が推測しがたい、今後状況の予測が困難であると考えられる。そのため、本研究は同等品交換で、1番：「性能・効率が一定であるが、コストが安くなる」の前提下、仮定の数値で効率向上率を設定する：

S_e 電気消費における効率向上率：電気を使う機器や設備は数多く存在するため、技術が大幅に進む可能性があるとして想定し、全体の消費効率向上率は、三年間で8%と設定する。

S_w 水道消費における効率変動率：水を使う場所はお主にお風呂・トイレ・台所である。たとえ技術が進んでも影響範囲が局限されると想定し、全体の消費効率向上率は、三年間で5%に設定する。

S_g ガス消費における効率変動率：ガス消費量の内訳の7割を給湯器が占めている。なお、今後ガス給湯器における技術的難関をブレイクスルーすることは簡単ではないと考えられるため、全体の効率向上率は、三年間で2%に設定する。

現時点では、技術革新とコスト変化との関連性に関する推移データの取得が困難であり、状況の予測も難しいである。もし、これらのデータ分析に適切な手法が出現し、予測に有用な情報が取得できれば、パラメーターの設定がより現実に近くなり、計算結果の精度も向上できると考えられる。それは今後の課題とする。

5-4 利子率・物価変動に関する考察

利子率：

第三章で詳述していたが（図 3-8 金銭の時間的価値(出典：BELCA、2005)を参照）、LCC 計算によく使われる割引率は「実質利子率」である。それは、名目利子率、インフレ率、デフレ率などの諸経費を考慮した上で実際にかかる金利のことであり、以下の式で表す：¹⁵⁰

実質金利 = (預けた時、所有している時の名目金利) - (予期される物価の変動率)

計算の便宜を考慮するため、一般の手法は合成された実質金利を割引率として用いる。計算期間中、名目金利あるいは物価がどちらか変動すれば、実質金利も連動して変わってしまい、計算が複雑になる。そのため、実質金利（割引率）が固定値に設定され、物価と名目金利が変動しないと想定されることが多い。

なお、将来に変動しうる不確実性を考慮した LCC 評価モデルを構築するのは本研究の目的であるため、名目利子率と物価変動率（本研究は光熱水道費と改修工事費の変動のみ）は独立説明変数として分けて計算する。ここでは、割引率は実質利子率ではなく、名目利子率である。

図 5-6 は過去 20 年間における名目利子率および物価指数の統計データである。（詳細は付録 6 を参照）このデータに基づき、本研究は 2013 年を計算の初年度として、「R：現時点名目利子率」を 0.5%で設定した。この統計データから、バブル景気である 1990 年前後の利子率でも、6%以下の水準であり、歴史上の記録からも、名目利子率が 6%を超える時期も極めて少ないことが把握出来る。なお、第三章に述べているように、長い間に利子率を固定値で設定すると、将来の変動を反映できず、現実の状況と乖離する恐れがある。したがって、日本の将来に景気回復する可能性があると考えられる上で、本研究では、過去のデータを基づいて利子率の変動状況を複数パターンで想定する(第六章にて詳述)。

150 ウィキペディア百科事典、<http://ja.wikipedia.org/wiki/実質金利>

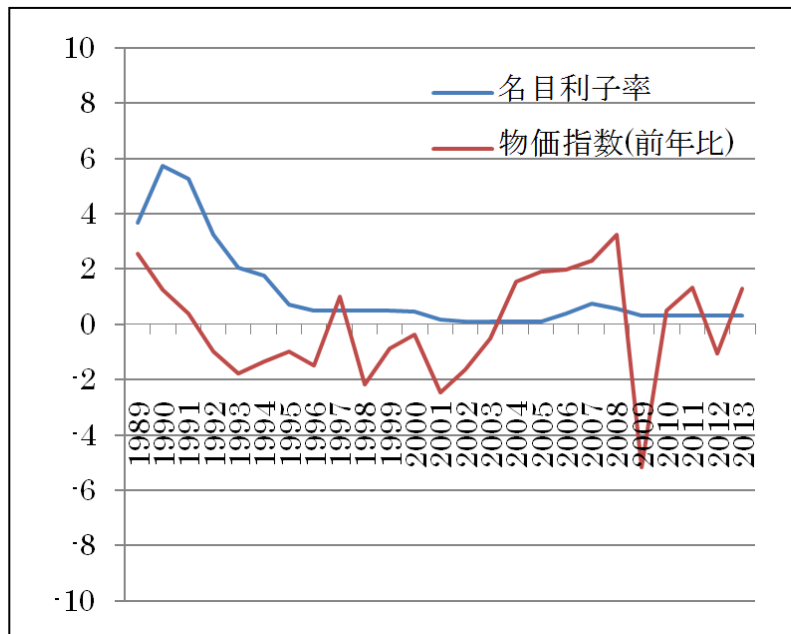


図 5-6 過去 25 年間ににおける名目利子率および物価指数の統計データ、出典：日本銀行

工事費変動率：

本研究において、光熱水道費を除く、物価変動にかかわる説明変数は工事費変動率である。現状では各社が独自の構法、仕様があり、工事費に関する情報は散在しており、過去の価格推移および、将来の予測が困難であると考えられるため、本研究では仮定の数値として設定する。上記の理由により、工事費変動率に関して、本研究では、新技術普及や労務・人事費削減で、将来の改修工事費(あるいは更新工事費)が今より安くなると仮定し、その変動の不確実性を「工事費変動率 F」として想定する。なお、供給・需要の変化で高くなる可能性もあると考えられるが、本研究の計算モデルでは、多くの変動するパラメーターを同時に扱うことができないため、改修工事費を年々下落すると固定値で想定した。今後、計算モデルの実用性を向上させるため、有用な情報の確保が重要であり、多変量解析を用いて計算モデルを調整する必要があると考えられる。

第六章 ケーススタディ

本章はケーススタディを通じて本研究の提案手法の有用性を検証する。ケーススタディは、既存マンションにおける省エネ改修の LCC 効果を評価対象として、不確実性下の意思決定分析を行い、不確実性への対策を検討する。本章の内容は、LCC 評価に使われるパラメーターの設定、LCC に影響を及ぼす不確実要素における感度分析、異なる与条件下での複数代替案の選択問題、不確実性下の意思決定時点の選択問題、に大別されている。

6-1 LCC 評価に関する入力変数の検討

本研究のケーススタディは、築後年数 10 年のマンション物件を対象として、LCC の視点から、一般改修に省エネ改修工事を加えるべきか否かという意思決定に関して分析・検討する。仮定した与条件は以下になる(図 6-1)：

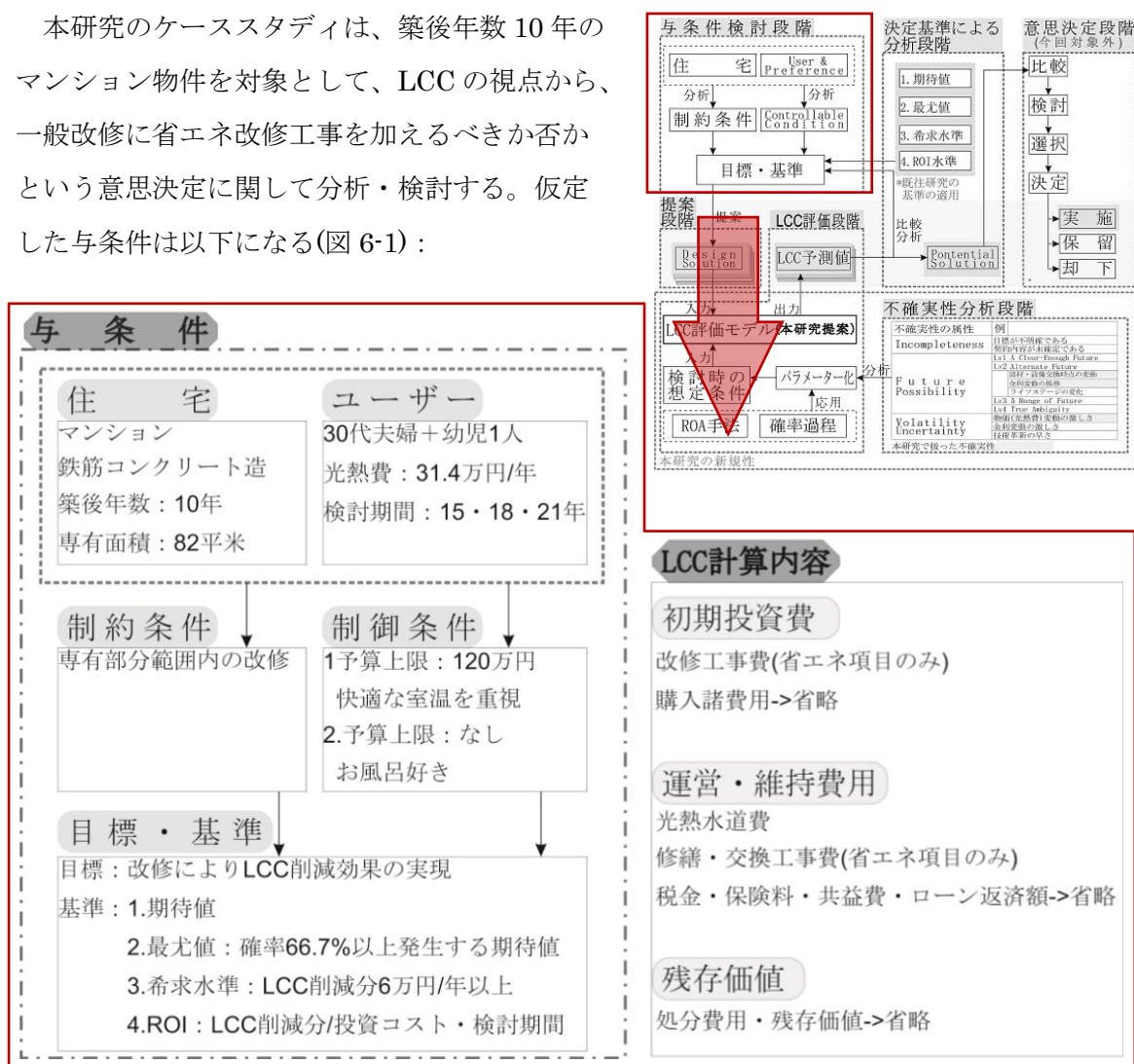


図 6-1 ケーススタディにおける与条件と LCC 計算内容

評価対象の選定：

住宅：分譲マンションのレイアウトや構法などは戸建て住宅とは違い、比較的均質である。そして、管理組合理約に従わなければならないため、専有部分しか改修できず、実施でき

る工事項目も限定されている。この特徴から改修工事がもたらす効果を比較する際に、戸建て住宅に比べて与条件が比較的単純であり、分析しやすいと考えられるため、本研究では築後 10 年の鉄筋コンクリート造のマンションを対象として選定した。

ユーザー：ライフステージの変化に伴い、世帯人数の増減等により居住ニーズが変化する可能性が生じるため、その際には居住空間の利用を再検討する必要がある。例えば、手元に資金の余裕があまりない、幼児がいる 30 代夫婦にとって、子供の成長をふまえた生活空間を整えることは重要であるものの、お金の運用方法も極めて重要である。本研究の評価モデルは、このような選択問題に直面する意思決定者をサポートするためのものである。今回は、ケーススタディの例として、幼児のいる 30 代夫婦の世帯を対象として選定した。

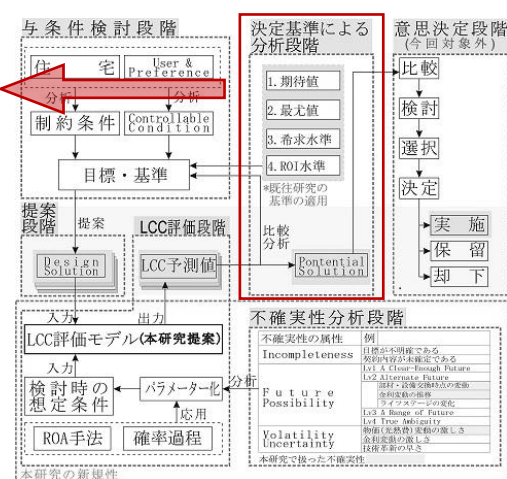
制約条件：マンションでは専有部分しか改修できないため、選択できる工事項目が限定されている。例えば、断熱性を向上させるために窓のリフォームを行おうとする時、カバー工法や内窓(二重サッシ)のような工法のみ選択出来る。

Controllable Condition：ユーザー自らが定義（コントロール）する条件である。本研究では、選好志向の異なる二つタイプのユーザーを仮定する：1.省エネ改修項目の追加予算の上限がなく、お風呂が好きなユーザー。2.省エネ改修項目の追加予算の上限は 120 万円で、快適な室内温度・湿度を重視するユーザー。

目標・基準：一般改修に省エネ改修項目を加えることで、光熱費の LCC 削減を図ることが目標である。ユーザーの選好傾向により、LCC 予測結果に対する評価・解釈が異なるため、実施可否の判断基準も異なると考えられ、本研究では既往研究に提示された決定基準に準じ、四つの基準を用意する¹⁵¹：

1.期待値：二項分布確率過程で推定した、すべての予測値の加重平均値である。もし「改修 LCC 期待値」が「改修なし LCC 期待値」より小さいならば、改修の LCC 削減効果があると考えられる。

2.最尤値：期待値 ± 1 シグマ(σ)範囲内(発生確率は合計約 68%)の予測値群の加重平均値である。確率論により、実施結果は「期待値」より「最尤値」に当たる可能性が大きいため、



151 飯田耕司：意思決定分析の理論、p148-157、2005

改修の LCC 削減効果が比較的確実に得られると考えられる。

3.希求水準：希求した毎年の LCC 削減分 1.5 万を越えた、予測値群の加重平均値である。本研究での希求水準「6 万円/年」とは、毎年平均 6 万円以上のコストが削減できることを指す。なお、発生の確率が 50%未満の場合、希求水準に達してないことになる。

4.ROI 水準(Return On Investment)：毎年平均のコスト削減分対投資工事コストの比率である。数値が高ければ高いほど、改修の投資からより効率的に回収できると考えられる。

LCC 計算内容：本研究では、異なる省エネ改修案による LCC の相違のみを比較するため、改修費の中、省エネ改修項目以外の一般改修の費用が同様であると見なして計算から省略する。また、マンションの購入諸費用、積立金・税金や残存価値なども同様であると見なして計算から省略する。

与条件が決定したら、それをもとに、リフォーム会社等の提案者が、与えられた目標を達成するための Design Solution(代替案)を提出すると仮定する。本研究において省エネ改修項目は、I 社の見積りデータにより選定されており(表 5-3 を参照)、「電気」、「水道」、「ガス」の区分で分けられた。実施部位と数量は図 6-2 で示す。下記に、改修項目を示す。

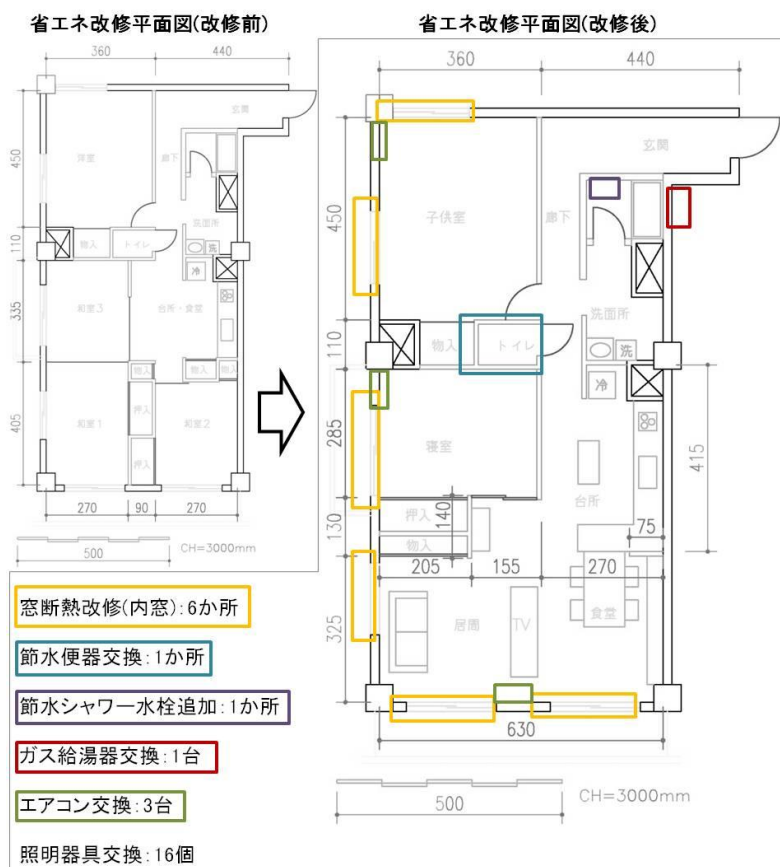


図 6-2 省エネ改修項目の実施部位および数量

- a.窓断熱改修-内窓増設：リビング、寝室、子供室にある合計 6 ヲ所の窓に、取付けが簡単である二重窓リフォームを行い、部屋の断熱性を向上させる。
- b.省エネエアコン交換：経年劣化により効率が悪くなったエアコンを、最新の省エアコン合計 3 台に交換する。
- c.省エネ照明器具交換：従来の白熱灯と蛍光灯から、効率が良い LED 照明に変更する。
- d.節水便器交換：従来の便器から、より一層節水効果が良い、最新型便器に交換する。
- e.節水水栓追加：ユニットバスに改修する際に、節水水栓を追加する。
- f.ガス給湯器交換：経年劣化により燃焼効率が悪くなった給湯器を、従来タイプのガス給湯器または潜熱回収型ガス給湯器に変更する。

ここからは、一例を通じて、二項分布確率過程を用いた LCC 計算方法および四つの比較基準の計算方法を示す：

Design Solution の提案：

この計算例では、入居の初年度に改修を行う前提で、LCC を計算する。仮定の省エネ改修代替案を表 6-1-1 のように想定した。

検討時の想定条件：

未来における不確実な変動状況を表 6-1-2 のように設定し、LCC 評価モデルのパラメーター値とした。

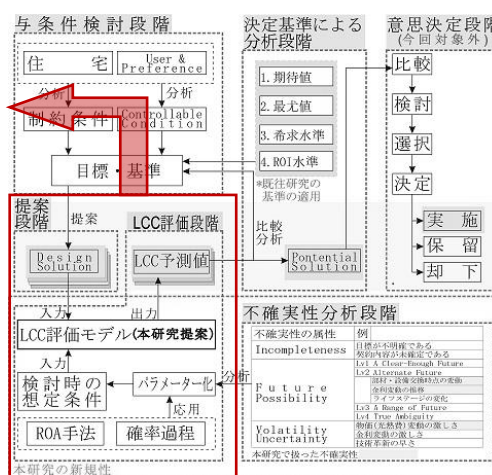


表 6-1-1 計算例-代替案の設定

代替案				
改修工事項目		レベル	省エネ	費用
電気	窓断熱改修	3	90%	46
	インナーサッシ			
	省エネエアコン交換	2	40%	30
水道	省エネ照明器具交換	2	40%	6
	節水便器交換	2	40%	18
	ユニットバス			
水道	節水水栓追加	2	50%	1
	高効率ガス給湯器交換	3	80%	15
全体工事費(万円) B			116	
全体省エネ効率Wm			78%	

表 6-1-2 計算例-想定条件の設定

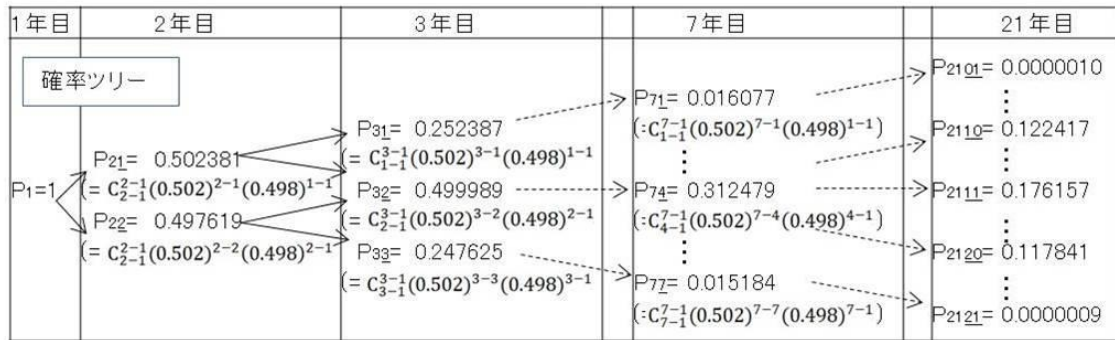
想定条件					
二項分布確率過程算定要素	名目利率	R(n)	1年目	7年目	13年目
			0.5%	2.5%	2.5%
物価上昇率	K	1.015			
上昇変動率	u	1.1			
下落変動率	d	0.91			
上昇確率	p	0.502			
下落確率	1-p	0.498			

LCC 評価段階：

この段階では、4-2-1 節で述べた計算の流れに従い、LCC 予測値を計算する。

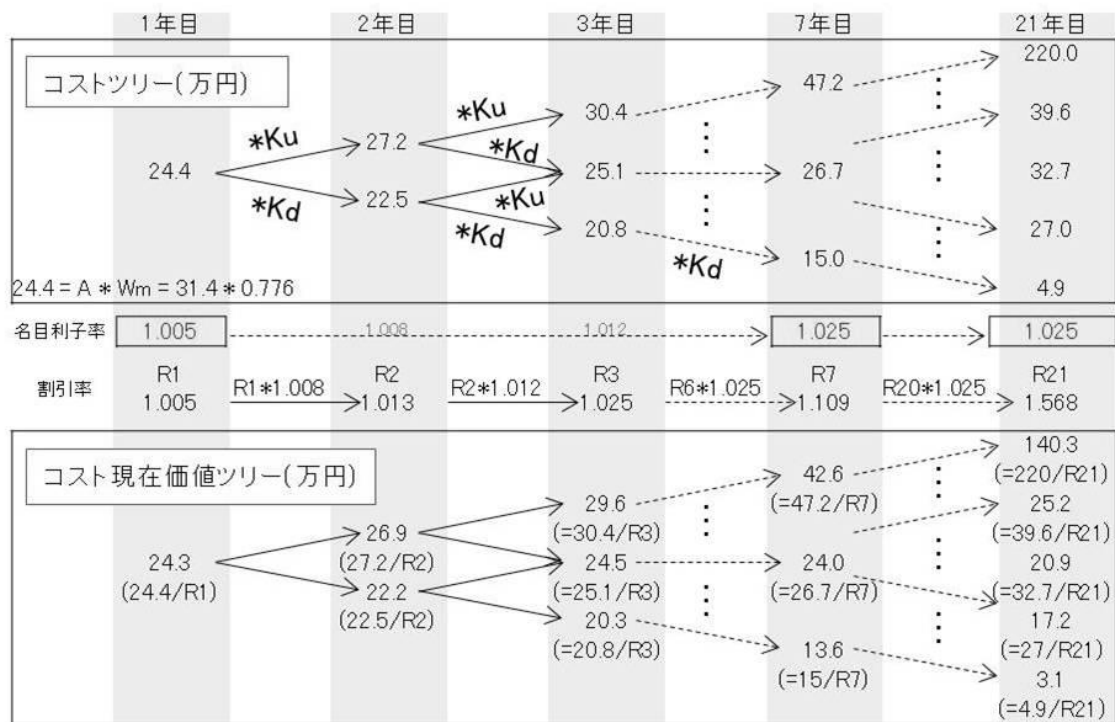
- 1). 確率ツリーの作成：表 6-1-2 の上昇・下落確率を用い、計算期間 21 年まで各時点・各格子での事象発生確率を算定する(表 6-1-3)。

表 6-1-3 計算例-確率ツリーの作成



2).コストツリーと現在価値ツリーの作成：想定した物価上昇率 K と変動率 u, d という不確実性に影響される、毎年コストの推移を二項分布確率過程で推定する。なお、省エネ改修で削減された初年度のコストは、31.4 万円 $\times 78\% = 24.4$ 万円となった。推定したコストツリーにおける各格子のコストを、表 6-1-2 で想定された名目利子率で割って、現在価値ツリーに換算する(表 6-1-4)。

表 6-1-4 計算例-コストツリーと現在価値ツリーの作成



3).各最終格子での LCC 予測値の算出：図 4-8 と式 4-10 の計算方法を用い、各最終格子に辿りついたランニングコストを計算する(下表 6-1-5 左)。そして、それを改修工事コストと加算すると、各最終格子での LCC 予測値と発生確率が把握できる(下表 6-1-5 右)。

表 6-1-5 計算例-各最終格子での LCC 予測値の算出

ランニングコスト(光熱費のみ)				+	改修 コストB	=	LCC予測値		
経路上コストの和		経路数	LCC(万)				各分岐格子	発生確率	
→	T ₂₁₀₁	1429.3	$\frac{1}{=(C_{1-1}^{21-1})}$	1429.3(万)	116		LCC ₂₁₀₁	1545.3	0.0000010
	⋮	⋮	⋮	⋮			LCC ₂₁₁₁	606.4	0.1761571
	T ₂₁₂₁	224.7	$\frac{1}{=(C_{21-1}^{21-1})}$	224.7(万)			LCC ₂₁₂₁	340.7	0.0000009

四つの比較基準値の算出：

ここからは、本研究が設定した四つの比較基準の定義に従い、代替案の「期待値」・「最尤値」・「希求水準」・「ROI」を算出する。下表 6-1-6、6-1-7、6-1-8 では、上述の各最終格子の LCC 予測値を用いることで、それぞれの計算方法を示す：

表 6-1-6 計算例-代替案における LCC 期待値と最尤値の計算方法

改修案LCC期待値	各格子LCC	発生確率	改修案LCC最尤値
期待値:全部の 予測値の加重平均 $\sum_{n=1}^{21} a_n \times b_n$ = 622.5(万)	a1 1545.3	b1 0.000001	最尤値:期待値±1σ範囲 の予測値群の加重平均 $\sum_{n=9}^{12} a_n \times b_n$ 発生確率が一番高い 予測値群
	a2 1383.5	b2 0.000021	
	a3 1243.5	b3 0.000195	
	a4 1121.7	b4 0.001162	
	a5 1015.6	b5 0.004891	
	a6 923	b6 0.015503	
	a7 842	b7 0.038391	
	a8 771.1	b8 0.076054	
	a9 708.8	b9 0.12242	
	a10 654	b10 0.16168	
	a11 606.4	b11 0.17616	
	a12 563.2	b12 0.15863	
改修なしLCC期待値 (比較基準) C = 653.1(万)	a13 525.5	b13 0.11784	
	a14 492.2	b14 0.07183	
	a15 462.4	b15 0.035575	
	a16 436	b16 0.014095	
	a17 412.4	b17 0.004363	
	a18 391.2	b18 0.001017	
	a19 385.2	b19 0.000168	
	a20 355.4	b20 0.000018	
	a21 340.7	b21 0.000001	

表 6-1-7 計算例- 代替案の希求水準の計算方法

希求水準	各格子 LCC		発生確率	コスト削減分(万)			
				全体	毎年:万/年		
				c-an	(c-an)/21		
「毎年コスト削減分>1.5万/年」を 満足した予測値群の加重平均	a1	1545.3	b1	0.000001	-892.2	d1	-42.5
	a2	1383.5	b2	0.000021	-730.4	d2	-34.8
	a3	1243.5	b3	0.000195	-590.4	d3	-28.1
	a4	1121.7	b4	0.001162	-468.6	d4	-22.3
	a5	1015.6	b5	0.004891	-362.5	d5	-17.3
	a6	923	b6	0.015503	-269.9	d6	-12.9
	a7	842	b7	0.038391	-188.9	d7	-9.0
	a8	771.1	b8	0.076054	-118	d8	-5.6
	a9	708.8	b9	0.12242	-55.7	d9	-2.7
	a10	654	b10	0.16168	-0.9	d10	0.0
	発生確率 $\sum_{i=11}^{21} b_i$ = 0.579	a11	606.4	b11	0.17616	46.7	d11
a12		563.2	b12	0.15863	89.9	d12	4.3
a13		525.5	b13	0.11784	127.6	d13	6.1
a14		492.2	b14	0.07183	160.9	d14	7.7
a15		462.4	b15	0.035575	190.7	d15	9.1
a16		436	b16	0.014095	217.1	d16	10.3
a17		412.4	b17	0.004363	240.7	d17	11.5
改修なしLCC期待値(比較基準) C = 653.1(万)	a18	391.2	b18	0.001017	261.9	d18	12.5
	a19	385.2	b19	0.000168	267.9	d19	12.8
	a20	355.4	b20	0.000018	297.7	d20	14.2
	a21	340.7	b21	0.000001	312.4	d21	14.9

$$= \frac{\sum_{i=11}^{21} d_i \times b_i}{\sum_{i=11}^{21} b_i} = 4.96(\text{万/年})$$

$$= \frac{\sum_{i=11}^{21} d_i \times b_i}{\sum_{i=11}^{21} b_i} / 116 = 4.27\%$$

表 6-1-8 計算例- 代替案の ROI の計算方法

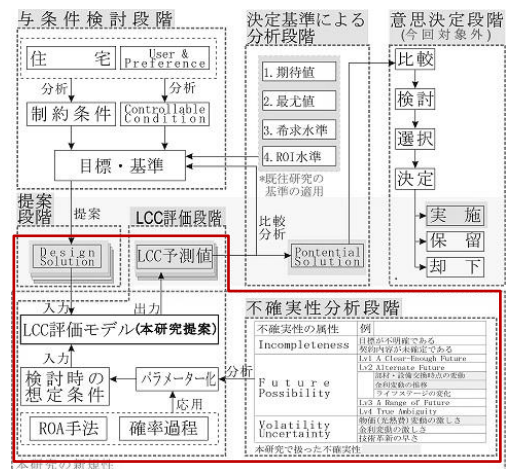
ROI(投資対効果)	各格子 LCC		発生確率	コスト削減分(万)			
				全体	毎年:万/年		
				c-an	(c-an)/21		
コスト削減分 計算期間 x 改修コスト $= \frac{\sum_{i=11}^{21} d_i \times b_i}{\sum_{i=11}^{21} b_i} / 116$ =4.27%	a1	1545.3	b1	0.000001	-892.2	d1	-42.5
	a2	1383.5	b2	0.000021	-730.4	d2	-34.8
	a3	1243.5	b3	0.000195	-590.4	d3	-28.1
	a4	1121.7	b4	0.001162	-468.6	d4	-22.3
	a5	1015.6	b5	0.004891	-362.5	d5	-17.3
	a6	923	b6	0.015503	-269.9	d6	-12.9
	a7	842	b7	0.038391	-188.9	d7	-9.0
	a8	771.1	b8	0.076054	-118	d8	-5.6
	a9	708.8	b9	0.12242	-55.7	d9	-2.7
	a10	654	b10	0.16168	-0.9	d10	0.0
	発生確率 $\sum_{i=11}^{21} b_i$ = 0.579	a11	606.4	b11	0.17616	46.7	d11
a12		563.2	b12	0.15863	89.9	d12	4.3
a13		525.5	b13	0.11784	127.6	d13	6.1
a14		492.2	b14	0.07183	160.9	d14	7.7
a15		462.4	b15	0.035575	190.7	d15	9.1
a16		436	b16	0.014095	217.1	d16	10.3
a17		412.4	b17	0.004363	240.7	d17	11.5
改修なしLCC期待値(比較基準) C = 653.1(万)	a18	391.2	b18	0.001017	261.9	d18	12.5
	a19	385.2	b19	0.000168	267.9	d19	12.8
	a20	355.4	b20	0.000018	297.7	d20	14.2
	a21	340.7	b21	0.000001	312.4	d21	14.9

マイナス

プラス

6-2 LCC に影響を及ぼす不確実要素における感度分析

LCC 計算を行う上では、その計算結果に影響を及ぼす不確実な要素は多数ある。その不確実要素の変動が予測結果にどれだけ影響を与えるか、ユーザーがそれに対してどう対応すべきであるかということは、意思決定において重要な問題であると考えられる。第 6-1 節に示した改修項目から全ての Design Solution のバリエーションを考慮すると、n 通りの代替案が出てくる(図 6-2)。本節では、その中から、代替案「135」を対象として、「物価」、「金利」、「交換周期」、それぞれの変動状況における感度分析を行い、対応策を検討する。



第五章の考察に基づき、LCC 計算における基本の設定は表 6-2 とする：

表 6-2 感度分析における LCC 計算の基本設定

ユーザー：幼児のいる 30 代夫婦				計算期間：15・18・21 年										
住宅：マンション・築後年数 10 年				光熱費 A=31.4 万/年										
代 替 案	番号 135	電気						水道		ガス				
	コスト(万)	インナーサッシ		エアコン		照明器具		節水便器		節水水栓		ガス給湯器		
	B 改修	118	38	Lv1	30	Lv1	6	Lv1	18	Lv1	1	Lv1	25	Lv2
	B' 交換	90			30	Lv1	6	Lv1	18	Lv1	1	Lv1	25	Lv2
B'' 修繕	0.6					0.6	Lv1							
交 換 ・ 修 繕 周 期	◎省エネ改修を行う(B) ◆不具合で交換(B') ○修繕(B'') (コストは更新費の 1/10)													
	築後年数	10 年目	13 年目	16 年目	19 年目	22 年目	25 年目	28 年目						
	入居期間	1 年目	4 年目	7 年目	10 年目	13 年目	16 年目	19 年目						
	変動の可能性													

ここで注意してもらいたいのは、本節において各想定変動状況の下で算出する LCC 期待値は、交換・修繕周期における各パターンの可能性を考慮した、総合的な評価結果である。即ち、LCC 期待値は、各パターンでの LCC 予測値を発生確率で加重平均した値である。

加えて、感度分析の対象(不確実要素の変動)以外の、将来に関する想定条件はすべて同じパターンとする。

6-2-1 物価変動

本研究では、光熱水道費が時間経過と共に、上昇率 K で徐々に上がると想定しているが、不確実性の影響で上下に変動する可能性を考慮して、その変動の幅を u と d で想定した。なお、将来における技術の成熟や労務・人件費の削減とともに、改修・更新・修繕工事費は変動率 F で下がりつつあると想定した。物価変動の感度分析では、光熱費上昇率 K 、光熱上昇率の変動率 u と d 、工事費変動率 F 、三つのパラメーターを対象として、LCC 計算結果に与える影響を比較する。物価変動の激しさにより、「物価変動(高)」、「物価変動(中)」、「物価変動(低)」の三つパターンに分け、そのほか、利子率の変動と技術向上の変動を固定パターンで想定した(表 6-3)。なお、工事費に関しては、上昇する可能性もあるが、今回の研究では、光熱費の変動要因に特化するため、固定値として、変動率を設定した。この変動要因を Volatility Uncertainty として考慮することも出来るが、その組み込みは、今後の課題とする。

表 6-3 「物価変動」の感度分析における想定条件

イベントの変化		1年目	4年目	7年目	10年目	13年目	16年目	
物価変動 (高)	物価上昇率	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
	変動率 u	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	
	変動率 d	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	
	工事費変動率	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
物価変動 (中)	物価上昇率	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
	変動率 u	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
	変動率 d	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	
	工事費変動率	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
物価変動 (低)	物価上昇率	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	
	変動率 u	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
	変動率 d	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
	工事費変動率	0.98	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95	
固定 パターン	利子率	1.005	1.015	1.015	1.015	1.010	1.010	
	技術向上 (省エネ率)	電気	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
		水道	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
		ガス	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

表 6-3 の想定条件で算出した省エネ改修代替案「135」の「LCC 期待値」、および改修なしの「LCC 期待値」は、下図 6-3、6-4、6-5 となる。なお、図例の用語は、以下のように定義する(表 6-1 を参照)：

LCC 期待値：改修案における全部の予測値の加重平均である。

比較基準(改修なし)：改修案を行わない場合における全部の予測値の加重平均である。

最尤値上(下)限：期待値±1シグマ(σ)の範囲内(発生確率約68%)、最大(小)予測値である。

分布上(下)限：全ての予測値の中、最大(小)予測値である

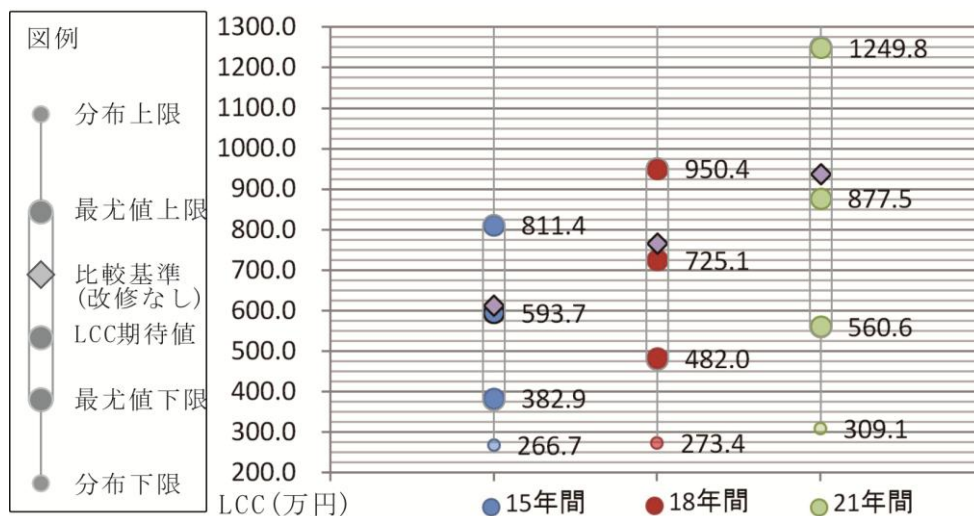


図 6-3 「物価変動(高)」における LCC 予測値分布範囲

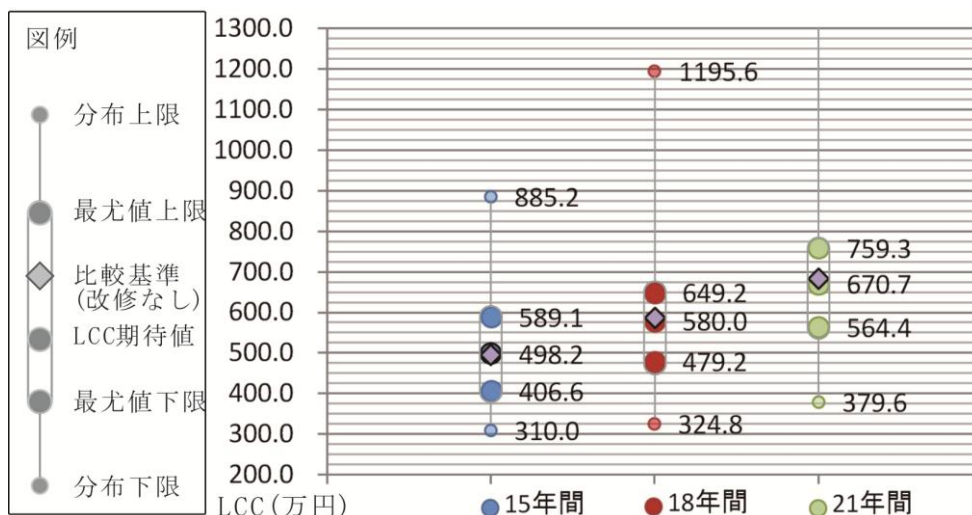


図 6-4 「物価変動(中)」における LCC 予測値分布範囲

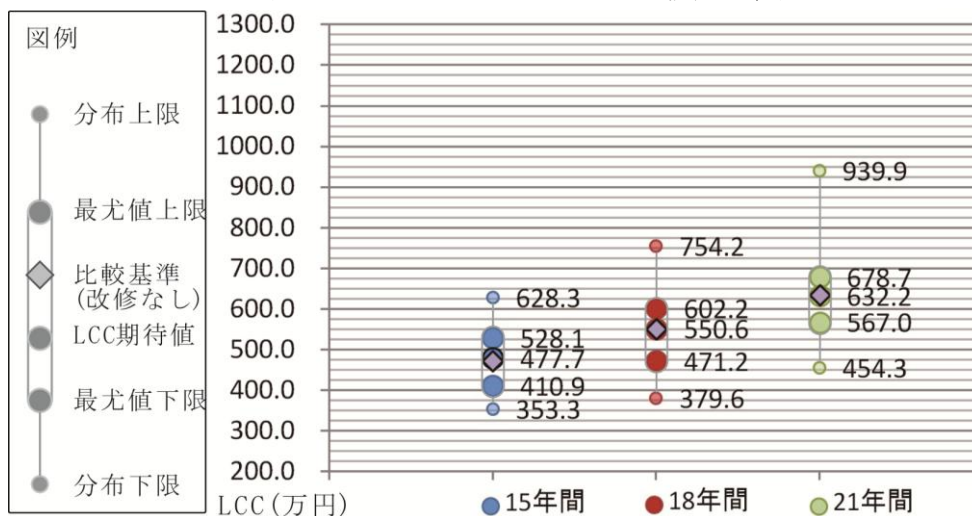


図 6-5 「物価変動(低)」における LCC 予測値分布範囲

さらに、代替案 135 における「LCC 最尤値」、「希求水準」、「ROI」と改修なしの LCC との比較を表 6-4 に示す。この表では、「基準」とは「改修なし」の場合で算出した数値である。灰色の数値は LCC が比較的に大きく、不利であることを表す。希求水準の確率とは、希求水準を満たす可能性(発生確率)である。この表によると、不確実性が高い(物価変動が激しい)場合には、「代替案 135」の LCC 期待値・最尤値が「改修なし」の数値より低く、コスト削減効果が明らかであることが分かった。また、居住期間を長く想定したほうが、希求水準の目標に達する可能性が高く、年平均コスト削減分も高くなる。そして、投資したコストに対して得られる LCC 削減分の割合、いわゆる ROI 指標の表現も比較的高い。

表 6-4 「物価変動」における感度分析結果(代替案 135)

物価変動		世帯構成変化(想定居住期間)						
		15 年		18 年		21 年		
		改修(万)	基準(万)	改修(万)	基準(万)	改修(万)	基準(万)	
不 確 実 性	高	期待値	593.7	612.2	725.1	766.2	877.5	937.0
		最尤値	568.0	585.0	679.2	723.1	814.1	883.5
		希求水準	8.8 (万/年)		11.1 (万/年)		11.6 (万/年)	
		確率	59%		61%		70%	
		ROI	7.47%		9.40%		9.82%	
	中	期待値	498.2	495.6	580.0	588.3	670.7	683.8
		最尤値	493.4	486.4	579.1	578.5	656.7	670.7
		希求水準	4.1 (万/年)		4.6 (万/年)		4.6 (万/年)	
		確率	40%		46%		51%	
		ROI	3.48%		3.86%		3.87%	
	低	期待値	477.7	470.1	550.6	551.0	632.2	633.6
		最尤値	469.6	465.6	546.8	547.4	628.4	628.3
		希求水準	3.0 (万/年)		3.4 (万/年)		2.9 (万/年)	
		確率	25%		24%		26%	
		ROI	2.52%		2.88%		2.48%	

不確実性が普通(物価変動-中)である場合には、居住期間を 15 年・18 年でやや短く想定したほうが、「代替案 135」の期待値と最尤値が「改修なし」より大きく、希求水準に達する可能性も 50%未満であることが分かった。それは改修の実施が LCC 削減効果をもたらす可能性が大きいと考えられる。

一方、不確実性が低い(物価変動が緩い)場合には、居住期間の長さにかかわらず、希求水準値が低く、目標に達する可能性も低いため、「代替案 135」における LCC 削減効果があまり期待できないと考えられる。

総合的に分析すると、物価の変動が激しい場合には、LCC の負担が明らかに大きくなるため、省エネ改修「代替案 135」の実施が有利である。逆に、物価の変動が緩い場合には、「改修なし」のままを保つほうが有利であると考えられる。

一般の LCC 評価手法では、物価変動に関するパラメーターが固定値で想定されており、不確実性による影響が反映されていないため、居住期間が長ければ代替案の実施が有利であるという結果が多かった。なお、本研究にて物価変動の不確実性を考慮することにより、居住期間による代替案の優位性が絶対ではないことが把握された。

6-2-2 金利変動

既存の LCC 研究では、計算期間内の利率(割引率)が単一固定値で設定されるケースが多かった。同じケースで異なる割引率で計算し、結果の相違を比べた感度分析の研究もあるが、計算期間にわたり固定値で設定されることは変わらなかった。本研究では、景気回復というシナリオを仮定前提として、利率(割引率)を単一固定値ではなく時間経過とともに変動すると想定した。なお、不確実性の影響で利率の変動の激しさが異なるため、ここでは「金利変動(高)」、「金利変動(中)」、「金利変動(低)」、三つパターンに分けて想定した。そのほか、物価の変動や技術向上の変動を固定パターンで想定した(表 6-5)。

表 6-5 「金利変動」の感度分析における想定条件

イベントの変化		1年目	4年目	7年目	10年目	13年目	16年目	
金利変動(高)	利率	1.005	1.025	1.04	1.04	1.025	1.005	
金利変動(中)	利率	1.005	1.015	1.015	1.015	1.01	1.005	
金利変動(低)	利率	1.005	1.005	1.01	1.01	1.005	1.005	
固定 パターン	物価上昇率	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
	変動率 u	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
	変動率 d	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	
	工事費変動率	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
	技術向上 (省エネ率)	電気	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
		水道	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
		ガス	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

表 6-5 の想定条件で算出した、省エネ改修代替案「135」の「LCC 期待値」、および改修なしの「LCC 期待値」は、下図 6-6、6-7、6-8 となる：

さらに、代替案 135 における「LCC 最尤値」、「希求水準」、「ROI」と改修なしの LCC との比較は表 6-6 となる。この表では、「基準」とは「改修なし」の場合で算出した数値である。灰色の数値は LCC が比較的大きく、不利であることを表す。希求水準の確率とは、希求水準を満たす可能性(発生確率)である。この表によると、不確実性にかかわらず、居住期間を長く想定したほうが、「代替案 135」の LCC 期待値・最尤値が「改修なし」の数値より低く、コスト削減効果が得られることが把握される。また、居住期間を長くすればするほど、希求水準の目標に達する可能性と、年平均コスト削減分が高くなる。

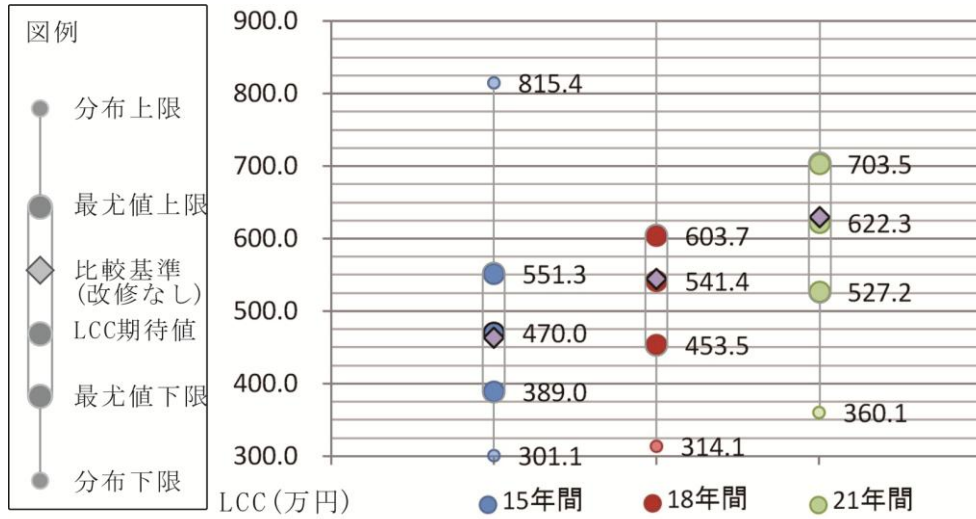


図 6-6 「金利変動(高)」における LCC 予測値分布範囲

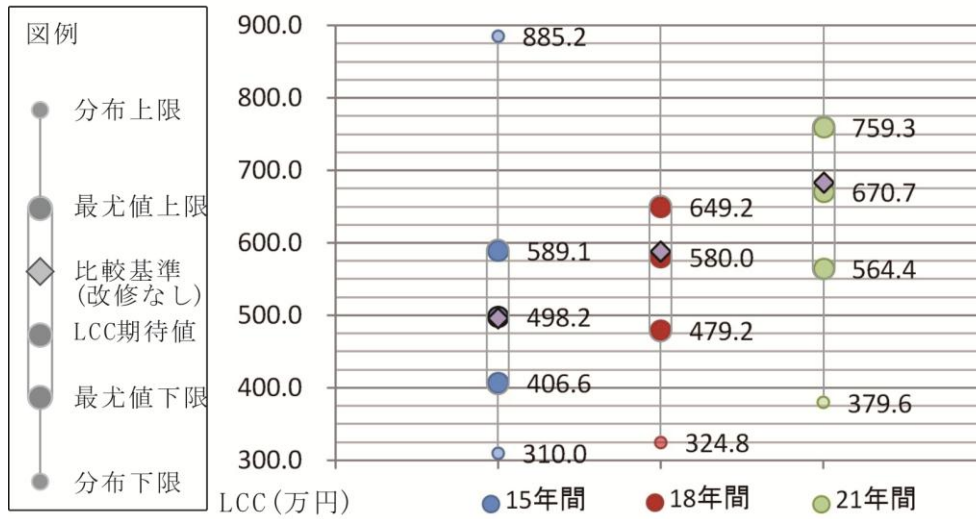


図 6-7 「金利変動(中)」における LCC 予測値分布範囲

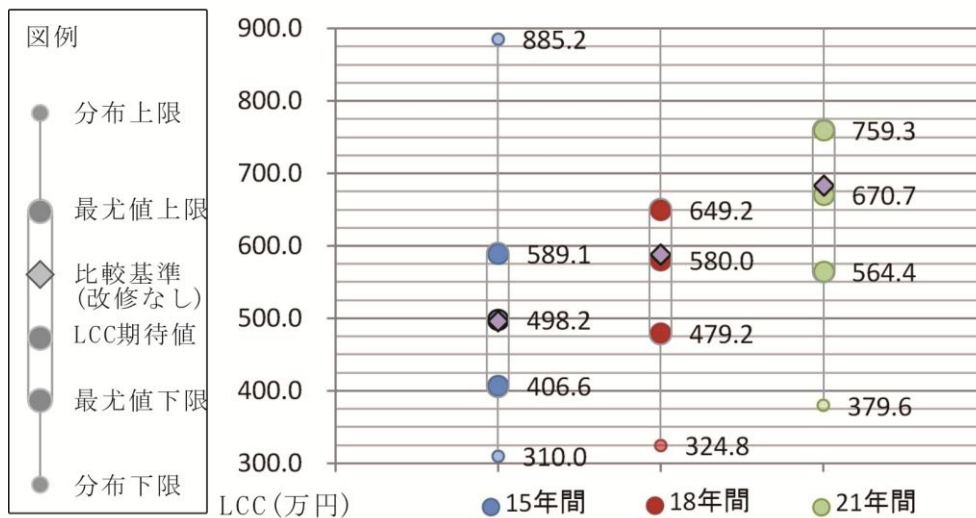


図 6-8 「金利変動(低)」における LCC 予測値分布範囲

表 6-6 「金利変動」における感度分析結果(代替案 135)

金利変動		世帯構成変化(想定居住期間)						
		15年		18年		21年		
		改修	基準	改修	基準	改修	基準	
不 確 実 性	高	期待値	470.0	463.0	541.4	544.3	622.3	630.2
		最尤値	466.0	454.8	540.8	534.6	610.0	618.6
		希求水準	4.0 (万/年)		4.4 (万/年)		4.7 (万/年)	
		確率	30%		36%		39%	
		ROI	3.40%		3.76%		4.01%	
	中	期待値	498.2	495.6	580.0	588.3	670.7	683.8
		最尤値	493.4	486.4	579.1	578.5	656.7	670.7
		希求水準	4.1 (万/年)		4.6 (万/年)		4.6 (万/年)	
		確率	40%		46%		51%	
		ROI	3.48%		3.86%		3.87%	
	低	期待値	528.5	532.2	624.3	641.2	732.9	756.5
		最尤値	523.3	522.5	623.2	629.2	717.0	741.6
		希求水準	5.0 (万/年)		4.9 (万/年)		5.3 (万/年)	
		確率	40%		55%		56%	
		ROI	4.20%		4.19%		4.53%	

なお、不確実性が高(金利変動-大)である場合には、居住期間を21年にしようとしても、「代替案 135」の実施が希求水準に達する可能性が40%未満であることが分かった。それは「代替案 135」を実施してもLCC削減効果があまり得られないと考えられる。

総合的に分析すると、金利の変動が緩い場合には、LCCの負担が大きくなるが、「代替案 135」の実施は比較的有利である。逆に金利の変動が激しい場合には、「改修なし」のままを保つほうが有利であると考えられる。

一般のLCC評価手法では、金利(または割引率)変動における感度分析を行うことが多いが、固定値で設定されるため(図 4-3 を参照)、現実ではその変動が連続的な変動であることが反映されていない。本節の結果から、本研究が提案する、金利変動が連続的であると想定した(図 4-4 を参照)LCC評価モデルを用いることで、変動の緩さ・激しさを、代替案実施可否の判断に考慮し得ることが把握された。

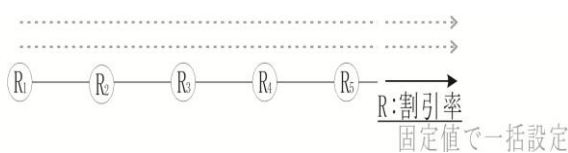


図 4-3

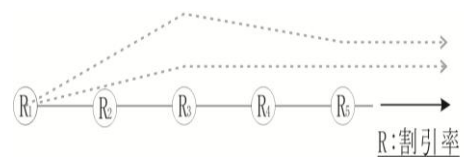


図 4-4

6-2-3 交換周期変動

本研究では、部材・部品に関する残存率研究データを用い、交換時点の可能性を確率で扱い、計算に組み込んで LCC 期待値を算出する。なお、第三章で議論したように、これまでは、残存率の統計データから得た交換周期曲線が単一パターンであるため、周期の長さ・交換時点の変動における不確実性に関する議論が少ないと考えられる。本研究では、交換時点の変動という不確実性の影響の下における交換周期の長さを、三つのパターンで想定し、それぞれの LCC を比較してその不確実性の影響を分析する。想定条件は「交換周期(短)」、「交換周期(中)」、「交換周期(長)」の三つパターンに分け、そのほか、物価の変動、利子率の変動と技術向上の変動を固定パターンで設定した(表 6-7)。

表 6-7 「交換周期変動」の感度分析における想定条件

交換周期 (短)	使用年数	7年目	10年目	13年目	16年目	19年目	22年目	
	残存率	0.7	0.5	0.3	0.1	0	0	
	故障率	0.3	0.5	0.7	0.9	1	1	
交換周期 (中)	使用年数	7年目	10年目	13年目	16年目	19年目	22年目	
	残存率	1	0.7	0.5	0.3	0	0	
	故障率	0	0.3	0.5	0.7	1	1	
交換周期 (長)	使用年数	7年目	10年目	13年目	16年目	19年目	22年目	
	残存率	1	0.9	0.7	0.5	0.3	0	
	故障率	0	0.1	0.3	0.5	0.7	1	
イベントの変化		1年目	4年目	7年目	10年目	13年目	16年目	
固定 パターン	物価上昇率	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
	変動率 u	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
	変動率 d	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	
	利子率	1.005	1.015	1.015	1.015	1.01	1.01	
	工事費変動率	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
	技術向上 (省エネ率)	電気	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
		水道	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
ガス		0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	

表 6-7 の想定条件で算出した、省エネ改修代替案「135」の「LCC 期待値」、および改修なしの「LCC 期待値」は、下図 6-9、6-10、6-11 となる：

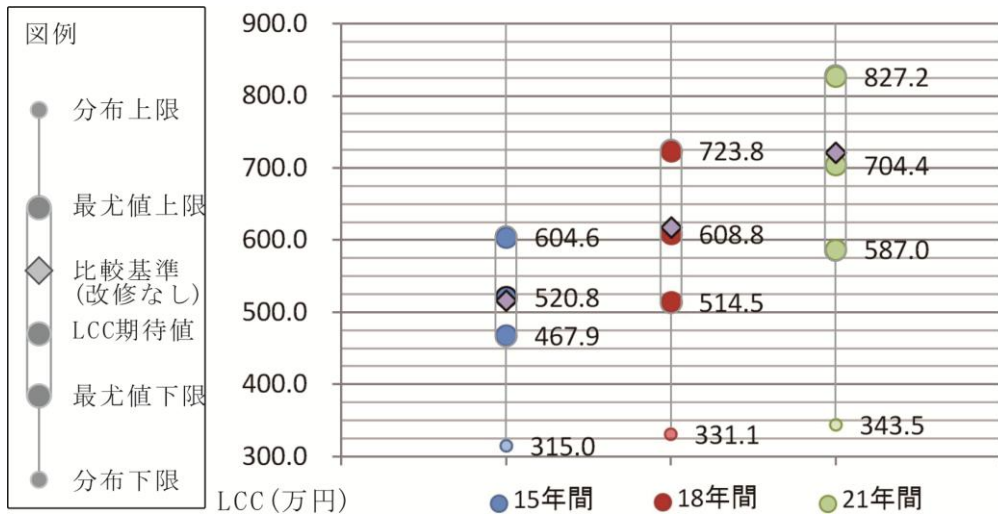


図 6-9 「周期の長さ(短)」における LCC 予測値分布範囲

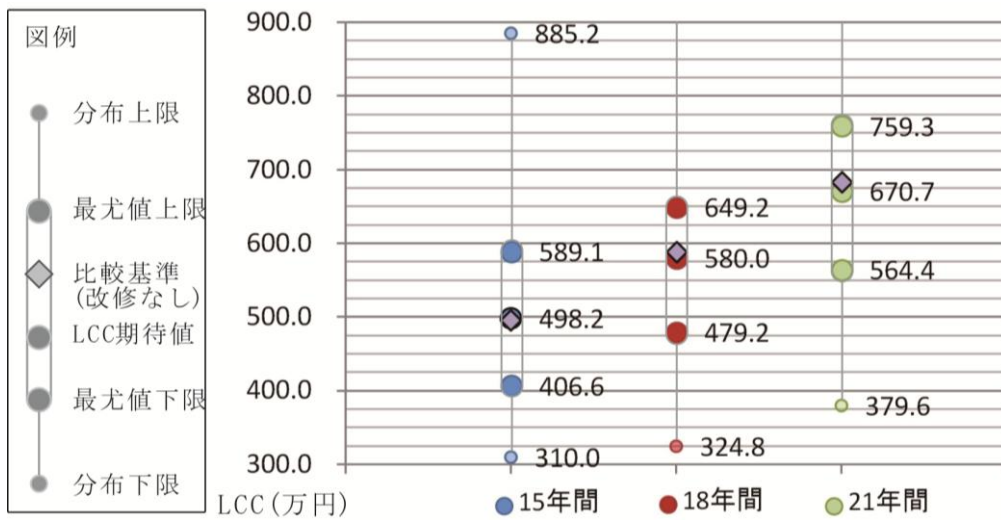


図 6-10 「周期の長さ(中)」における LCC 予測値分布範囲

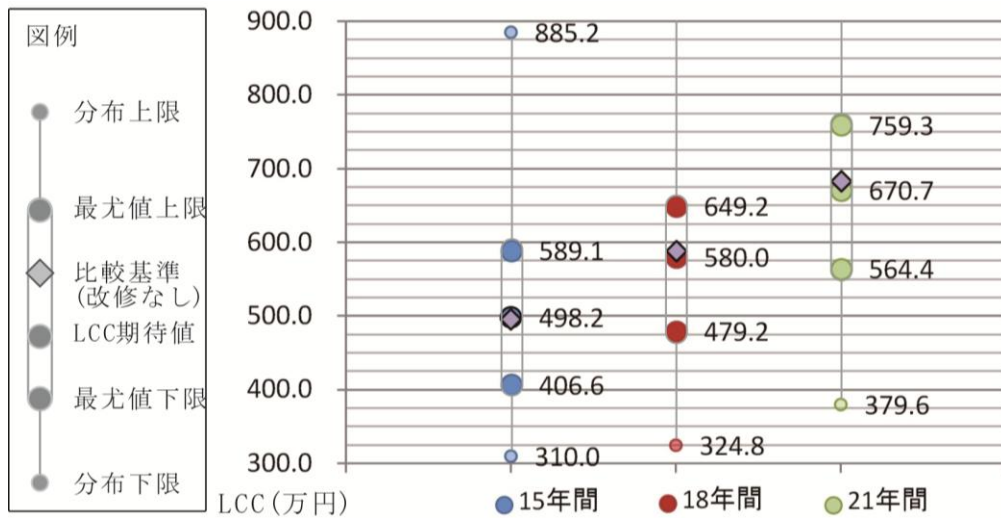


図 6-11 「周期の長さ(長)」における LCC 予測値分布範囲

さらに、代替案 135 における「LCC 最尤値」、「希求水準」、「ROI」と改修なしの LCC との比較は表 6-8 となる。この表では、「基準」とは「改修なし」の場合で算出した数値である。灰色の数値は LCC が比較的に大きいで不利であることを表す。希求水準の確率とは、希求水準を満たす可能性(発生確率)である。この表によると、交換周期にかかわらず、18 年・21 年の居住期間を想定した場合に、「代替案 135」の LCC 期待値・最尤値が「改修なし」の数値より低く、コスト削減効果が明らかであることが分かった。居住期間 18 年・21 年の場合に、交換周期の短いほうは希求水準の目標に達する可能性が 50%を越えて、改修が有利であると見えるが、周期の長いほうと比べると年平均コスト削減分が高くなく、ROI 数値の表現も優れていないことが分かった。

表 6-8 「交換周期変動」における感度分析結果(代替案 135)

交換周期変動		世帯構成変化(想定居住期間)						
		15 年		18 年		21 年		
		改修	基準	改修	基準	改修	基準	
周期の長さ	短	期待値	520.8	516.2	608.8	618.0	704.4	721.8
		最尤値	519.6	512.6	612.5	623.2	703.2	713.0
		希求水準	4.3 (万/年)		4.4 (万/年)		4.9 (万/年)	
		確率	36%		51%		54%	
		ROI	3.68%		3.76%		4.19%	
	中	期待値	498.2	495.6	580.0	588.3	670.7	683.8
		最尤値	493.4	486.4	579.1	578.5	656.7	670.7
		希求水準	4.1 (万/年)		4.6 (万/年)		4.6 (万/年)	
		確率	40%		46%		51%	
		ROI	3.48%		3.86%		3.87%	
	長	期待値	500.6	499.9	588.0	597.3	682.5	698.8
		最尤値	486.1	494.6	579.8	586.4	670.3	684.2
		希求水準	3.8 (万/年)		5.3 (万/年)		5.6 (万/年)	
		確率	48%		40%		44%	
		ROI	3.24%		4.52%		4.78%	

一方、居住期間 15 年の場合には、交換周期が短いほうが、期待値・最尤値が高く希求水準の発生確率が低く、代替案実施が不利であると言える。それに対して、交換周期の長いほうが、「代替案 135」の改修効果が比較的に見られると考えられる。

総合的に分析すると、短い交換周期の場合、LCC の負担が大きく、想定した居住期間の長さ次第で「代替案 135」の改修効果の相違も大きいことが分かった。その一方、長い交換周期の場合には、想定居住期間にかかわらず、「代替案 135」の改修効果が比較的に安定で、有利であると考えられる。

6-2-4 LCC 評価に不確実性を考慮したケースまとめ

一般の LCC 評価手法では、時間経過とともに変動する説明変数が固定値で想定されており、いわゆる不確実性を外部要素として扱うため、居住期間が長ければ代替案の実施が有利であるという分析結果が多かった。しかし、物価・金利などの変動は連続で能動的であるため、代替案実施可否を判断する際にそれらの要因を考慮する必要があると考えられる。

本研究は不確実性を内部要素として扱い、その変動の緩さ・激しさをパラメーターで設定した。感度分析を通じて LCC 評価を行った結果により、変動の激しさが異なるパターン次第で、代替案の優位性が変わるため、長期居住期間の優位性は絶対ではないことが把握された。よって、本研究の提案評価手法は、不確実性を把握することを通じて、異なる居住期間における、代替案の実施可否の判断が可能となり、意思決定に有用であると考えられる。

「交換周期」の設定に関して、一般の手法では部材・部品の交換周期を単一パターンで想定した上で、交換を「同等品交換」で扱う。すなわち、機能劣化などの原因で交換時点が変わるという不確実性を言及していない。それに対して、本研究の評価手法では交換時点の変動を確率で扱う上で、短・中・長の三つの交換周期における LCC 効果を比較した。その結果、交換周期が短いほうは代替案の実施が不利でことが明確に把握される。なお、交換周期「中」の LCC が交換周期「長」より少なく、実施が有利であることから、「交換周期が長ければ必ず代替案の実施が優位性がある」という一般論と相違があることが分かった。それは、一般の手法では考慮していなかった、交換時点の変動という不確実性(機能劣化や満足度低下の原因による)の影響があるためであると考えられる。部品・部材の交換計画が住宅 LCC に大きな影響を与えるという観点から、本研究の提案評価手法を用いることで、住宅におけるコスト・マネジメントに有用な情報を提供できると考えられる。

6-2-5 LCC 評価結果を用いた投資可否判断

不確実性を考慮した意思決定過程には、代替案が基準を満たすかどうかを分析するのみでなく、分析結果により不確実性に対する対応策を練り、ユーザーの判断をサポートすることも重要である。本研究では、「物価」・「金利」・「交換周期」における三つの不確実性を分析した。この判断基準の設定は、「期待値」・「最尤値」・「希求水準」・「ROI」として仮定した。なお、この基準は、ユーザーによって、異なる定義が存在するものとする。4 章にも示したが、この定義に関しては、本研究では言及しないこととする。第三者が提案評価

手法を用いて、別途ユーザーを支援すると仮定する。この投資可否判断に関しては、異なる変動状況の下で、代替案の実施結果における各種の可能性を「期待値」・「最尤値」・「希求水準」・「ROI」で表す。そして、各可能性を考慮した上で、リスク選好志向が異なる決定者にとって投資可否における判断が、「△」「○」「◎」「×」のような四段階の指標を用意した：

「△」：リスク志向的：LCC 期待値は改修なしの基準値より高いが、発生確率の高い「最尤値」が基準値より低いため、7割近くの確率で改修のコスト削減効果があると考えられる場面は、「△」の結果となる。また、「希求水準」6万/年以上を満たす確率が50%を超える場合にも、代替案が確実に改修のコスト削減効果があるとは断言できないが、投資したら大きなコスト削減効果を収める可能性があると思われ、「△」の結果となる。リスク志向的な人が受け入れると想定する。

「○」：リスク中立的：LCC 期待値と最尤値は改修なしの基準値より低い場合は「○」の結果となる。リスク中立的・リスク回避的な人が受け入れると想定する。一般のLCC評価手法では、予測値の発生確率を考慮せず、期待値のみで判断するため、ユーザーのリスク選好志向に反映できず、結論が「Yes」or「No」しか出ない評価となった。

「◎」：リスク回避的：LCC 期待値と最尤値は改修なしの基準値より低く、希求水準を満たす確率も50%以上越えるため、比較的大きなコスト削減効果を収めることが期待できると考えられる場合は、「◎」の結果となる。リスク志向的・リスク中立的、リスク回避的な人が受け入れると想定する。

「×」：投資不可：いずれの上述状況にも属しない場合は、「×」の結果となり、どのようなリスク選好志向を持つ人に対しても投資不可であると想定する。

なお、ここで一つ注意すべきは、この四つの指標の内容設定は、リスク選好志向が異なるユーザーにより調整されるものである。固定値ではなく、例えばリスク志向的なユーザーに対して、「△」の定義を希求水準が「50%以上」から「40%以上」に調整することが可能である。本研究では、ケーススタディにて算出されたLCC評価結果の有用性を確認するため、上記のような設定を想定した。この想定条件のもと、それぞれの変動状況に対応して、「代替案135」の投資可否判断を、下記、表6-9にまとめた。

表 6-9 不確実な変動状況における投資可否の判断

不確実性		世帯構成変化(想定居住期間)		
		15年	18年	21年
物価変動	高	◎	◎	◎
	中	×	△	○
	低	△	○	△
金利変動	高	×	△	○
	中	×	△	○
	低	△	○	○
周期の長さ	短	×	○	○
	中	×	△	○
	長	○	○	○
△	期待値が基準値より高いが、最尤値が基準値より低い or 希求水準6万/年以上を満たす確率が50%を越える			
○	LCC期待値と最尤値は改修なしの基準値より低い			
◎	LCC期待値と最尤値が基準値より低い、希求水準が50%以上に達する			
×	いずれの上述状況にも属しない			

表 6-9 を参考することで、さらに表 6-10 にまとめることができる。異なる選好志向の決定者にとって、様々な不確実性下において代替案に対する投資可否または適切な計画期間に関する判断が、比較的容易に把握できると考えられる。これを、期待値のみに着目し、二元論的な分析結果しか出せない、一般の LCC 手法の評価結果(表 6-11)と比較すると、ユーザーのリスク選好志向次第では、可否判断が逆となることが把握された。

表 6-10 リスク選好志向を考慮した代替案投資可否の判断

本研究の評価手法による投資可否判断														
投資可否判断	リスク選好志向	不確実性	想定居住期間			不確実性	想定居住期間			不確実性	想定居住期間			
			15年	18年	21年		15年	18年	21年		15年	18年	21年	
投資可否判断	回避的	物価変動	高	可	可	可	高	不可	不可	不可	短	不可	不可	不可
	中立的		高	可	可	可	高	不可	不可	可	短	不可	可	可
	選好的		高	可	可	可	高	不可	可	可	短	不可	可	可
	回避的		中	不可	不可	不可	金利変動	不可	不可	不可	中	不可	不可	不可
	中立的			不可	不可	可		不可	不可	可		不可	不可	可
	選好的			不可	可	可		不可	可	可		不可	可	可
	回避的		低	不可	不可	不可	低	不可	不可	不可	長	不可	不可	不可
	中立的			不可	可	不可		不可	可	可		可	可	可
	選好的			可	可	可		可	可	可		可	可	可

□ 一般手法による可否判断とは逆となった結果

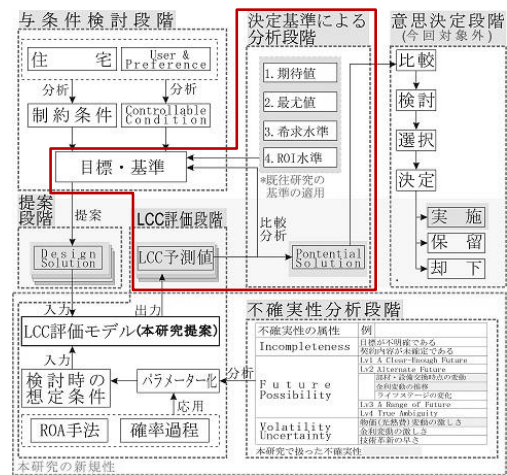
本研究が示す LCC 分析結果と、上記に示す判断指標を参考にすることで、不確実な変動状況下においても柔軟性のある対策を検討することが可能となる。住宅への投資に関する意思決定過程において、如何に不確実な変動状況を捉えて評価を行い、如何に変動状況に対応した対策を練るのか、ということは非常に重要であり、ユーザーにとっての難題である。このような観点から、本研究の提案の LCC 評価手法は、不確実な変動状況下においても、ユーザーに柔軟性のある選択肢を提供し得るという有用性があることが確認された。

表 6-11 期待値のみで考慮した
代替案投資可否の判断

一般手法による投資可否判断				
不確実性		想定居住期間		
		15年	18年	21年
物価変動	高	可	可	可
	中	不可	可	可
	低	可	可	可
金利変動	高	不可	可	可
	中	不可	可	可
	低	可	可	可
周期の長さ	短	不可	可	可
	中	不可	可	可
	長	不可	可	可
判断基準	可	期待値<基準値		
	不可	期待値>基準値		

6-3 複数代替案の意思決定問題

本研究における議論の焦点は、「住宅の修繕・改修における意思決定過程」である。4章の4-1にて示した、本研究の定義と研究範囲では、意思決定分析に使われた評価モデルの役割は、「各代替案のLCC予測値や投資対効果などを分析することを通じて、複数の代替案の中から可能な解を選び出すこと」である。本節では、二つの例を通じて省エネ改修代替案の選定過程を説明する。



ここでの複数の代替案とは、六つの改修項目により任意に組合せをした、計 288 個の選択肢である。その中で、番号 4 は改修なしで比較基準となり、番号 135 は 6-2 節で示した分析対象である。(表 6-12、付録 7-1 を参照)。

表 6-12 本研究の分析対象となる省エネ改修代替案 (抜粋)

代替案 (選択肢)		選定工事項目					
		◇レベル1		◆レベル2		★レベル3	
番号	工事費用	電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明	節水便器	節水水栓	高効率給湯器
1	1					◇	
2	16					◇	◇
3	26					◇	◆
4	0						
5	15						◇
⋮	⋮						
134	108	◇	◇	◇	◇	◇	◇
135	118	◇	◇	◇	◇	◇	◆
136	92	◇	◇	◇	◇		
⋮	⋮						⋮
284	137	★	◇	◇	◇	◇	◇
285	147	★	◇	◇	◇	◇	◆
286	121	★	◇	◇	◆		
287	136	★	◇	◇	◆		◇
288	146	★	◇	◇	◆		◆

なお、代替案のLCC計算に使われた将来の変動などの想定条件は、表 6-13 とする。本節において各想定変動状況の下で算出するLCC期待値は、交換・修繕周期における各パターンの可能性を考慮した、総合的な評価結果である。即ち、LCC期待値は、各パターンでのLCC予測値を発生確率で加重平均した値である。

表 6-13 代替案選択問題における LCC 計算の想定条件

ユーザー：幼児のいる 30 代夫婦 住宅：マンション・築後年数 10 年			計算期間：15・18・21 年 光熱費 A=31.4 万/年					
イベントの変化		1 年目	4 年目	7 年目	10 年目	13 年目	16 年目	
将来の変動	物価上昇率	1.005	1.015	1.015	1.015	1.010	1.005	
	変動率 u	1.050	1.100	1.100	1.100	1.100	1.050	
	変動率 d	0.952	0.909	0.909	0.909	0.909	0.952	
	利子率	1.005	1.025	1.025	1.025	1.020	1.010	
	工事費変動率	0.98	0.95	0.95	0.95	0.96	0.98	
	技術向上 (省エネ率)	電気	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
		水道	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
ガス		0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	
交換・改修周期	◎省エネ改修を行う(B) ◆不具合で交換(B') ○修繕(B'') (コストは更新費の 1/10)							
	築後年数	10 年目	13 年目	16 年目	19 年目	22 年目	25 年目	28 年目
	入居期間	1 年目	4 年目	7 年目	10 年目	13 年目	16 年目	19 年目
	変動の可能性							

6-3-1 ケース A

ユーザーの選好志向により比較基準が異なるため、複数の代替案から可能解として選定できる案は、ユーザー間で同じではないと考えられる。本研究では、選好志向の異なる二タイプのユーザーを仮定した上で、意思決定過程における代替案の選定過程を検討する。

ケース A のユーザーの選好志向と要求を以下のように設定する：

1. 省エネ改修項目の追加予算の上限がない。
2. お風呂が好きであるため、シャワー時の水利用の節約と給湯器の燃焼効率を重視する
3. LCC 削減効果を重視する。
4. ユーザーはリスク回避的である。

ユーザーの選好志向と要求に応えるよう、代替案は必ず以下の基準を満たすこととする：

- a. 代替案には必ず「節水水栓」と「高効率ガス給湯器」を改修項目に入れる。
- b. 改修の目標は、LCC 削減分を 6 万円/年に設定して、各代替案の優劣を「希求水準」の基準で比較する。
- c. 改修のコスト削減効果が確実に見通すことが出来る代替案にしか投資をしないため、投資の可否を「◎--リスク回避的」の指標で判断する。

上述の目標・基準「a」により、選び出された代替案は合計 48 個がある。この時点で、本研究の LCC 評価モデルで LCC 予測値を算出し、それぞれの LCC 期待値・最尤値を表 6-14 にまとめる(付録 7-2 を参照)：

表 6-14 ケース A における各代替案の期待値・最尤値・希求水準(付録を参照)

		想定居住期間 21 年				想定居住期間 18 年				想定居住期間 15 年			
改修なし (基準)		685.4	659.1			555.4	545.0			445.3	432.9		
番号	工事費	期待値	最尤値	希求水準	確率	期待値	最尤値	希求水準	確率	期待値	最尤値	希求水準	確率
3	26	614.3	599.2	7.7	62%	498.9	480.9	7.2	62%	406.3	393.7	6.4	59%
9	44	620.0	604.7	7.4	62%	504.6	487.1	6.8	62%	411.9	399.1	6.0	59%
15	54	632.3	616.5	6.9	61%	515.7	498.1	6.2	62%	422.5	408.7	5.3	59%
⋮	⋮											⋮	⋮
273	119	674.8	659.3	6.3	45%	560.1	543.2	5.1	43%	468.0	454.9	3.6	39%
279	137	680.5	664.8	5.9	45%	565.8	549.3	4.7	43%	473.7	460.2	3.5	31%
285	147	692.8	676.6	5.5	43%	576.9	560.3	4.1	43%	484.3	469.9	3.6	21%

表 6-15 ケース A の可能解における希求水準ランキング

Case A		想定居住期間 21 年				想定居住期間 18 年				想定居住期間 15 年			
希求水準 ランキング		希求水準	=コスト削減分 21 年		確率	希求水準	=コスト削減分 18 年		確率	希求水準	=コスト削減分 15 年		確率
最大		7.7	(万円/年)		62%	7.2	(万円/年)		62%	6.4	(万円/年)		59%
平均		6.8	(万円/年)		52%	6.2	(万円/年)		49%	5.2	(万円/年)		43%
最小		6.0	(万円/年)		50%	5.5	(万円/年)		43%	4.3	(万円/年)		39%
番号	工事費用	可否判断	希求水準	確率	ROI	可否判断	希求水準	確率	ROI	可否判断	希求水準	確率	ROI
3	26	◎	7.7	62%	29.8%	◎	7.2	62%	27.5%	◎	6.4	59%	24.8%
21	32	◎	7.6	62%	23.9%	◎	7.0	62%	22.0%	◎	6.3	59%	19.7%
9	44	◎	7.4	62%	16.8%	◎	6.8	62%	15.4%	○	6.0	59%	13.6%
39	56	◎	7.3	62%	13.1%	◎	6.7	62%	12.0%	○	5.9	59%	10.5%
27	50	◎	7.3	62%	14.6%	◎	6.7	62%	13.3%	○	5.8	59%	11.7%
57	62	◎	7.2	62%	11.7%	◎	6.6	62%	10.6%	○	5.8	59%	9.3%
63	80	◎	7.1	61%	8.8%	◎	6.2	62%	7.8%	○	5.3	59%	6.6%
45	74	◎	7.0	62%	9.5%	◎	6.3	62%	8.6%	○	5.4	59%	7.4%
15	54	◎	6.9	61%	12.9%	◎	6.2	62%	11.4%	○	5.3	59%	9.8%
33	60	◎	6.8	61%	11.4%	◎	6.0	62%	10.1%	○	5.2	59%	8.6%
51	84	◎	6.5	61%	7.8%	○	5.7	62%	6.8%	○	4.8	59%	5.7%
69	90	◎	6.5	61%	7.2%	○	5.6	62%	6.2%	○	4.6	59%	5.1%
75	64	◎	6.2	61%	9.8%	○	5.7	56%	8.9%	○	4.8	49%	7.6%
219	83	◎	6.2	52%	7.5%	○	5.9	43%	7.1%	×	4.5	39%	5.4%
135	118	◎	6.2	50%	5.3%	○	5.7	43%	4.8%	×	4.3	39%	3.6%
93	70	◎	6.1	61%	8.8%	○	5.6	56%	8.0%	○	4.7	49%	6.7%
165	78	◎	6.1	57%	7.8%	○	5.5	52%	7.0%	×	5.0	39%	6.4%
111	94	◎	6.0	61%	6.4%	○	5.8	47%	6.2%	△	5.0	39%	5.3%
117	112	◎	6.0	54%	5.4%	○	5.8	43%	5.2%	×	4.4	39%	3.9%
改修投資の可否判断	△	期待値が基準値より高いが、最尤値が基準値より低い or 希求水準 6 万/年以上を満たす確率が 50%を越える											
	○	LCC 期待値と最尤値は改修なしの基準値より低い											
	◎	LCC 期待値と最尤値が基準値より低い、希求水準が 50%以上に達する											
	×	いずれの上述状況にも属しない											

48 個代替案の中に、上述の基準「b」・希求水準=6 以上を満たした代替案は合計 39 個ある。さらに、前述の基準「c」に従って判断すると、「◎」の結果となり、ユーザーにとって可能解である代替案は、番号 3・21・9・27 などを含めて合計 19 個あることが分かった。(居住 18 年の場合は 10 個、居住 15 年の場合は 2 個)そして、希求水準の高さで並べた結果は、表 6-15 となる。

表の上にある「最大」・「平均」・「最小」とは、可能解の 19 個代替案により、希求水準の統計結果である。想定居住期間により順位の並び方が異なるが、この表の順位は居住 21 年の予測結果を中心にして並べたものである。

6-3-2 ケース B

ケース B のユーザーの選好志向と要求を以下のように設定する：

- 1.省エネ改修項目の追加予算の上限は 120 万円である。
- 2.快適な室内温度・湿度を重視するため、自然換気と空調調節を併用する。
- 3.投資対効果を重視する。
- 4.ユーザーはリスク志向的である。

ユーザーの選好志向と要求に応えるよう、代替案は必ず以下の基準を満たすこととする：

- a.代替案には必ず「窓断熱改修-インナーサッシ」と「省エネエアコン」を改修項目に入れる。
- b.改修の目標は、ROI を 6%に設定して、各代替案の優劣を「ROI」の基準で比較する。
- c.50%以上の確率で改修によるコスト削減効果がある場合には投資をすると設定するため、投資の可否を「△」、「○」、と「◎」指標で判断する。これらは、リスク志向的な人が受け入れると想定する範囲である。

ここでの「△-リスク志向的」は以下のように定義する：代替案の LCC「期待値」が基準値より高いが、「最尤値」が基準値より低い。代替案が確実に改修のコスト削減効果があるとは断言できないが、「ROI」6%を満たす確率が 50%を越えるため、投資した場合、大きなコスト削減効果を収める可能性がある。このような代替案はリスク志向的な人にとって可能解になると考えられる。

上述の目標・基準「a」により、選び出された代替案は合計 76 個ある。本研究の LCC 評価モデルで算出した予測値に対する、それぞれの LCC 期待値・最尤値を表 6-16 にまとめる(付録 7-3 を参照)：

表 6-16 ケース B における各代替案の期待値・最尤値・ROI

Case B		想定居住期間 21 年				想定居住期間 18 年				想定居住期間 15 年			
改修なし (基準)		685.4	659.1			555.4	545.0			445.3	432.9		
番号	工事費	期待値	最尤値	希求水準	確率	期待値	最尤値	希求水準	確率	期待値	最尤値	希求水準	確率
109	69	680.7	665.3	9.5%	50%	560.4	541.8	8.1%	43%	463.1	451.0	6.3%	39%
110	84	676.2	660.5	7.5%	54%	556.0	538.0	6.3%	43%	458.6	446.0	4.7%	39%
111	94	655.7	640.3	6.9%	61%	540.8	523.8	5.9%	47%	445.1	431.1	4.5%	39%
112	68	681.0	672.7	9.1%	54%	567.8	545.0	7.6%	43%	470.5	458.8	5.6%	39%
113	83	683.3	667.8	7.5%	45%	563.3	545.1	6.3%	43%	466.0	453.8	4.7%	39%
274	93	706.9	691.8	5.7%	45%	587.1	568.2	4.9%	37%	490.1	478.4	4.2%	21%
275	108	702.4	686.9	4.6%	43%	582.7	564.5	4.1%	37%	485.7	473.4	3.3%	21%
276	118	681.9	666.7	4.4%	45%	567.5	550.2	3.7%	43%	475.5	462.7	3.2%	34%
277	112	705.4	689.8	4.4%	43%	585.5	567.3	4.7%	37%	488.4	476.0	3.0%	21%
280	111	712.5	697.2	4.2%	43%	592.8	574.4	4.5%	37%	495.8	483.7	2.7%	21%

76 個代替案の中に、上述の基準「b」・ROI=6%以上を満たす代替案は合計 31 個ある。さらに、前述の基準「c」に従って判断すると、「△」「○」「◎」の結果となり、ユーザーにとって可能解である代替案は、番号 109・112・181 などを含めて合計 7 個あることが分かった。(居住 18 年の場合は 7 個、居住 15 年の場合は 1 個)そして、希求水準の高さで並べた結果は、表 6-17 となる：

表 6-17 ケース B の可能解における ROI ランキング

Case B		想定居住期間 21 年				想定居住期間 18 年				想定居住期間 15 年			
ROI ランキング		ROI	$\frac{\text{コスト削減分}}{21 \text{ 年} \times \text{工事費}}$	確率	ROI	$\frac{\text{コスト削減分}}{18 \text{ 年} \times \text{工事費}}$	確率	ROI	$\frac{\text{コスト削減分}}{15 \text{ 年} \times \text{工事費}}$	確率			
最大		9.5%	(万円/年)	61%	8.1%	(万円/年)	47%	6.3%	(万円/年)	39%			
平均		7.6%	(万円/年)	46%	6.9%	(万円/年)	40%	5.3%	(万円/年)	32%			
最小		6.4%	(万円/年)	50%	6.2%	(万円/年)	43%	4.8%	(万円/年)	39%			
番号	工事費用	可否判断	ROI	確率	希求水準	可否判断	ROI	確率	希求水準	可否判断	ROI	確率	希求水準
109	69	△	9.51%	50%	6.6	○	8.15%	43%	5.6	×	6.34%	39%	4.4
112	68	△	9.24%	54%	6.3	○	7.76%	43%	5.3	×	5.81%	39%	4.0
181	77	△	8.06%	50%	6.2	○	6.75%	43%	5.2	×	5.02%	39%	3.9
110	84	△	7.91%	54%	6.6	○	6.82%	43%	5.7	×	5.35%	39%	4.5
128	90	△	7.28%	50%	6.5	○	6.24%	43%	5.6	×	4.84%	39%	4.4
114	93	◎	7.02%	50%	6.5	○	6.33%	43%	5.9	×	4.80%	39%	4.5
111	94	◎	6.43%	61%	6.0	○	6.22%	47%	5.8	△	5.29%	39%	5.0
改修投資の可否判断	△	期待値が基準値より高いが、最尤値が基準値より低い or ROI=6%以上を満たす確率が 50%を越える											
	○	LCC 期待値と最尤値は改修なしの基準値より低い											
	◎	LCC 期待値と最尤値が基準値より低い、希求水準が 50%以上に達する											
	×	いずれの上述状況にも属しない											

6-3-3 まとめ

ケース A とケース B、それぞれの基準により選定された代替案の工事内容を表 6-18 にまとめる。二つのユーザー基準を用いた代替案の選定過程により、以下のことが分かった：

- 1.代替案の選好基準に関係なく、想定居住期間は長ければ長いほど、省エネ改修がもたらす LCC 削減効果が著しい。(これは、既往の LCC 評価の結果と合い違わない)
- 2.単一工事項目のみで選定した代替案を比較した結果、「高効率給湯器」・「節水水栓」は LCC

削減効果が良く、投資対効果の評価も高いことが分かった。なお、他の項目と併用する際、全体の LCC 削減効果を最大化するためには、良いバランスの組合せによる代替案を選ぶことが重要となる。

3.異なるユーザーの選好志向により目標と比較基準が異なるため、可能解になり得る代替案もユーザーにより変動する。多数の代替案から、ユーザーの選好志向と要求に相応しい可能解を選び出すことは、意思決定手法の重要な役割である。本研究の評価モデルでは二つのケースを通じて代替案の選定過程を説明し、意思決定手法としての有用性を検証した。

表 6-18 異なる基準により選定された代替案の内容

Case A			選定工事項目					
希求水準 ランキング			◇レベル1	◆レベル2	★レベル3			
順位	番号	工事 費用	電気		水道		ガス	
			インナーサッシ	エアコン	省エネ照明	節水便器	節水水栓	高効率給湯器
1	3	26					◇	◆
2	21	32			◇		◇	◆
3	9	44				◇	◇	◆
4	39	56		◇			◇	◆
5	27	50			◇	◇	◇	◆
6	57	62		◇	◇		◇	◆
7	63	80		◇	◇	◇	◇	◆
8	45	74		◇		◇	◇	◆
9	15	54				◆	◇	◆
10	33	60			◇	◆	◇	◆

Case B			選定工事項目					
ROI ランキング			◇レベル1	◆レベル2	★レベル3			
順位	番号	工事 費用	電気		水道		ガス	
			インナーサッシ	エアコン	省エネ照明	節水便器	節水水栓	高効率給湯器
1	109	69	◇	◇			◇	
2	112	68	◇	◇				
3	181	77	◆	◇			◇	
4	110	84	◇	◇			◇	◇
5	128	90	◇	◇	◇		◇	◇
6	114	93	◇	◇				◆
7	111	94	◇	◇			◇	◆

意思決定を支援するための LCC 評価手法が、実際の既存住宅流通市場にあまり応用されてないのは現況である。一般の LCC 評価手法では、リスクに対する評価をしておらず、代替案の選出基準が不明確であり、Yes or No 二元論的な分析結果しか出せない。そのため、柔軟性のある分析に欠けて、リスク選好志向が異なるユーザーに対応できない、意思決定支援の効果が見えなくなる結果となる。これらの観点から、ユーザーのリスク選好志向を考慮した本研究の意思決定過程モデルは、柔軟性のある分析を提供することができており、意思決定に役立つと考えられる。

6-4 意思決定時点選択問題

6-4-1 デシジョン・ツリーの作成

意思決定問題を分析する時、将来の状況における想定は、分析結果に影響を与えるため重要である。物価の上昇・利子率の変動など、一般の LCC 評価ではその想定条件を一つパターンで設定することが多いが、現実では時間経過とともに想定条件が変化する可能性がある。本研究では、想定条件を三つ設定した上で、相互に変化する可能性を確率値で仮定し、イベント・ツリーで変動パターンを作成する(図 6-12、表 6-18)。最初の 10 年間は九つのパターンで変動するが、10 年目以後は同じパターンで変動すると想定した。

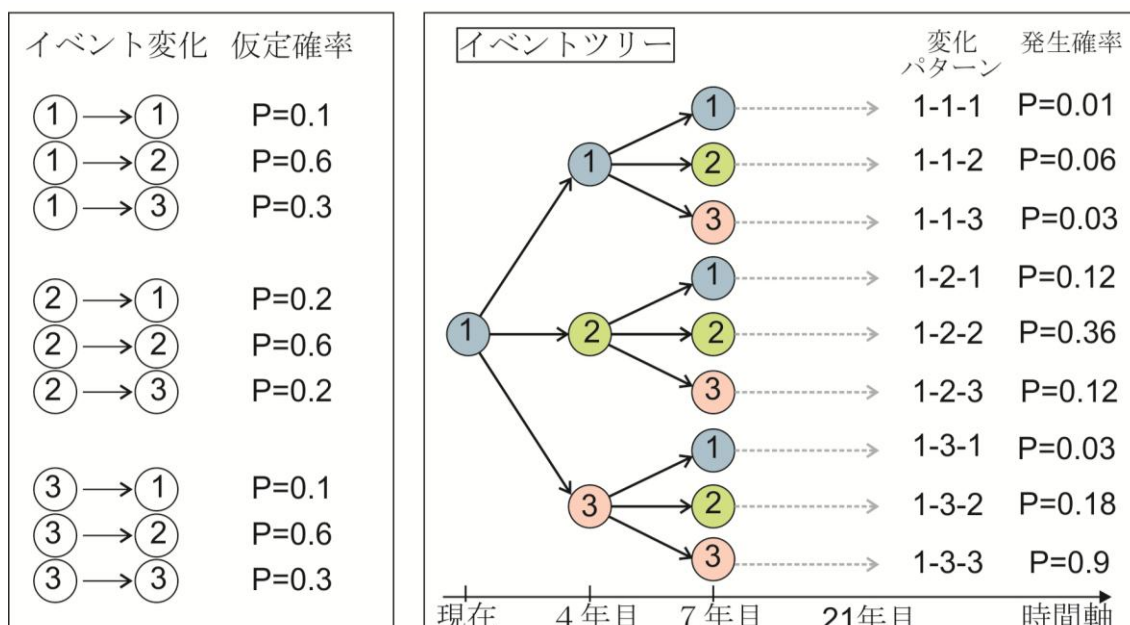


図 6-12 イベント変化の仮定とイベント・ツリー

想定したイベント・ツリーの条件において、いつ・どの代替案を行うことが、ユーザーにとって最適な選択であろうか、という問題を分析するために、本研究は以下の流れで検討する：

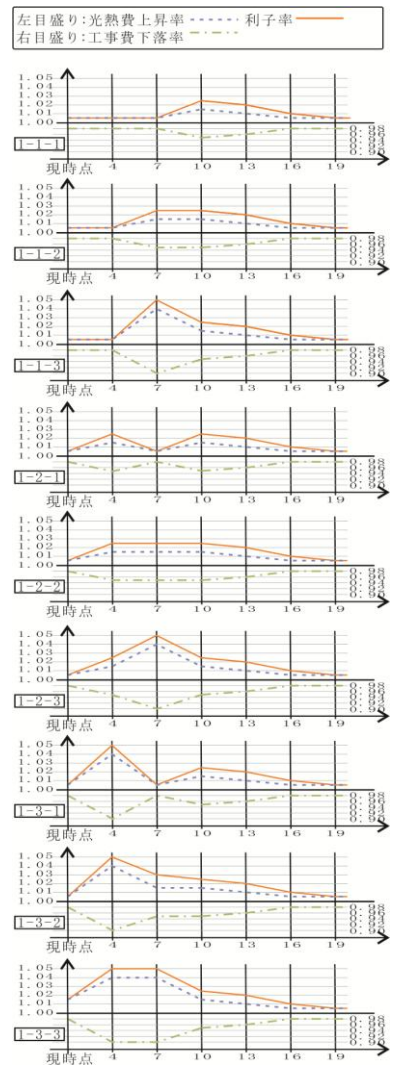
1. まずは、イベント・ツリーの中で、発生確率が高いパターンを選ぶ。それを入力想定条件として、各代替案の LCC 評価を行い、第 6-4 節の選定過程で可能解を選び出す。本研究第 6-4 節では、イベントパターン 1-2-3 を使って選んだ代替案が多数あるが、ここでは、番号 128 の案を例に説明する(表 6-19)。

表 6-19 代替案 128 の工事項目構成

代替案 128		選定工事項目					
		◇レベル1		◆レベル2		★レベル3	
工事費用	省エネ率	インナーサッシ	エアコン	省エネ照明	節水便器	節水水栓	高効率給湯器
90	0.81	◇	◇	◇		◇	◇

表 6-20 本研究における変化パターンの想定

変動パターン	経過年数						
	現在	4	7	10	13	16	19
1-1-1							
物価上昇	1.005	1.005	1.005	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.005	1.005	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.98	0.98	0.95	0.96	0.98	0.98
1-1-2							
物価上昇	1.005	1.005	1.015	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.005	1.025	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.98	0.95	0.95	0.96	0.98	0.98
1-1-3							
物価上昇	1.005	1.005	1.04	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.005	1.05	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.98	0.9	0.95	0.96	0.98	0.98
1-2-1							
物価上昇	1.005	1.015	1.005	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.025	1.005	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.95	0.98	0.95	0.96	0.98	0.98
1-2-2							
物価上昇	1.005	1.015	1.015	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.025	1.025	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.95	0.95	0.95	0.96	0.98	0.98
1-2-3							
物価上昇	1.005	1.015	1.04	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.025	1.05	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.95	0.9	0.95	0.96	0.98	0.98
1-3-1							
物価上昇	1.005	1.04	1.005	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.05	1.005	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.9	0.98	0.95	0.96	0.98	0.98
1-3-2							
物価上昇	1.005	1.04	1.015	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.05	1.025	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.9	0.95	0.95	0.96	0.98	0.98
1-3-3							
物価上昇	1.005	1.04	1.04	1.015	1.01	1.005	1.005
利子率	1.005	1.05	1.05	1.025	1.02	1.01	1.005
工事変動	0.98	0.9	0.9	0.95	0.96	0.98	0.98



2. 上述の代替案は、単一パターンの下で選ばれたもので、静的評価による結果である。しかし、最初の想定条件が変動する可能性があるため、その不確実性に対応するように、他の状況における LCC 評価が必要である。本研究では、イベント・ツリーを九つの変動パターンで想定し、それぞれの状況の下で、代替案の「LCC 最尤値」評価を行う(表 6-20)。ここでは、番号 128 の代替案を例として、分析結果を表 6-21 で示す(詳細は付録 8 を参照)：

表 6-21 各変動パターンにおける LCC 最尤値評価(代替案 128)

番号 128 変動 パターン	計算期間 15 年				計算期間 18 年				計算期間 21 年			
	改修時点				改修時点				改修時点			
	なし	1 年目	4 年目	7 年目	なし	1 年目	4 年目	7 年目	なし	1 年目	4 年目	7 年目
1-1-1	456.7	467.7	477.8	488.6	531.8	537.0	547.3	566.4	g 611.5	619.9	d 621.4	a 643.8
1-1-2	439.6	452.7	463.2	475.9	521.1	525.2	537.9	559.1	h 606.5	615.1	e 618.5	b 642.7
1-1-3	427.3	442.0	453.3	469.0	528.6	527.0	544.5	570.0	i 633.1	638.6	f 645.3	c 673.7
1-2-1	461.2	472.9	480.3	492.0	543.8	546.6	555.9	576.7	629.5	636.5	636.6	660.6
1-2-2	444.2	457.8	465.8	479.2	534.0	535.5	547.2	570.1	626.4	633.4	635.4	661.3
1-2-3	432.9	448.0	456.7	473.3	545.0	540.1	556.9	584.3	659.1	662.5	667.9	698.1
1-3-1	500.1	508.8	513.4	527.4	604.7	597.9	607.7	632.9	710.1	709.6	708.9	737.3
1-3-2	481.6	492.4	497.5	513.3	596.0	587.3	599.9	627.3	710.6	709.8	711.2	741.6
1-3-3	471.7	483.8	489.7	508.9	615.4	598.1	616.8	649.6	758.9	753.0	751.7	793.9

*LCC 最尤値単位：万円
 * 色付けは第 6-3 節で使われた算出値である
 * 青の斜体字数値の加重平均は、表 4-19 の改修値 M となる

3.表 6-21 の結果を用い、第 4-2-3 節の遡及方法で計算すると、想定したイベント・ツリーの条件の下で、各改修時点での改修 LCC 最尤値・改修なし LCC 最尤値・保留 LCC 最尤値が算出できる(表 6-22)。ここでの「保留 LCC 最尤値」は、決定を先送りして次の時点で改修を行う場合の LCC 最尤値である。即ち、「保留」という権利を行使する時生じる「オプション価値」である。

表 6-22 イベント・ツリーにおける各時点の LCC 最尤値(代替案 128)

代替案番号 128		比較基準:LCC 最尤値 単位：万円		想定居住期間：21 年	
改修時点					
現在		4 年目		7 年目	
				1	改修 a 643.8
				P=0.01	なし g 611.5
		1	改修 R 626.8	2	改修 b 642.7
		P=0.1	なし x 615.0	P=0.06	なし h 606.5
			保留 k 652.1	3	改修 c 673.7
				P=0.03	なし i 633.1
				1	改修 660.6
1	改修 M 663.0	2	改修 S 642.2	P=0.12	なし 629.5
P=1	なし w 659.2	P=0.6	なし y 633.6	2	改修 661.3
	保留 Q 665.0		保留 668.5	P=0.36	なし 626.4
				3	改修 698.1
				P=0.12	なし 659.1
		3	改修 T 723.3	1	改修 737.3
		P=0.3	なし z 725.0	P=0.03	なし 710.1
			保留 756.9	2	改修 741.6
				P=0.18	なし 710.6
				3	改修 793.9
				P=0.9	なし 758.9
改修 M=一年目各予測値の加重平均			改修 R=d*0.01+e*0.06+f*0.03/0.1		
なし w=x*0.1+y*0.6+z*0.3			なし x=g*0.01+h*0.06+i*0.03/0.1		
保留 Q=R*0.1+S*0.6+T*0.3			判断 k=a*0.01+b*0.06+c*0.03/0.1		

4.表 6-22 を用いて代替案のデシジョン・ツリーを作成する(図 6-13)。改修の実施可否に関する判断は、該当時点・該当イベントにおける「改修 LCC 最尤値」・「改修なし LCC 最尤値」・「保留 LCC 最尤値」の三者の大小関係で決められる。「改修 LCC 最尤値」が「改修なし」・「保留」最尤値より低いならば、それは行動の選択肢の中の「該当時点での改修」の LCC 削減効果が最も大きいことを指し、改修すべきであると考えられる。そうではなければ、改修ではなく保留すべきであると考えられる。

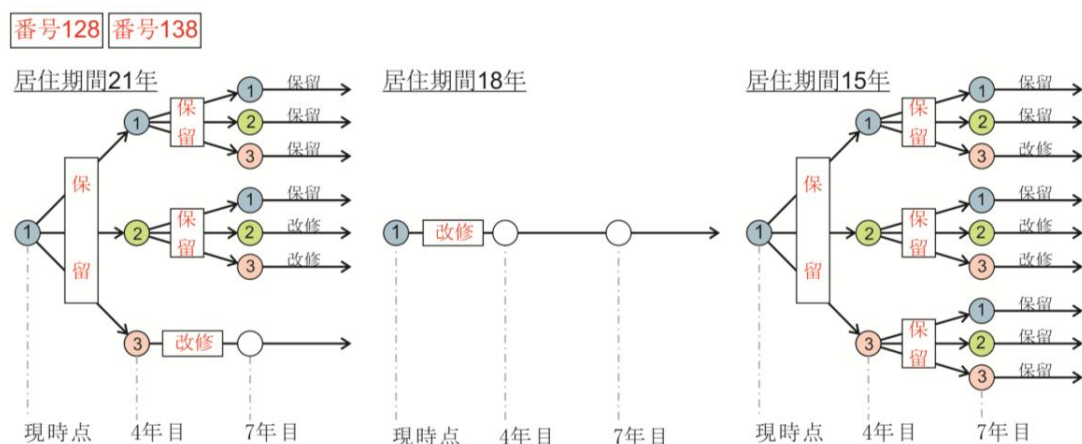


図 6-13 代替案 128 のデシジョン・ツリー

まず、図 6-13 の「想定居住期間 21 年」の場合をみってみる。現時点では、「改修なし」または「保留」の LCC 最尤値が「一年目改修」より低いため、「保留」の行動をとり、次の時点まで様子見をしながら待つべきであると考えられる。四年目になる時、もし現況の変動は「1->3」のパターンに入る場合ならば、「四年目改修」の LCC 最尤値は、「改修なし」と「保留」の LCC 最尤値がより低いため、「改修」の行動をとるべきである。なお、もし現況の変動は「1->1」、または「1->2」のパターンに入る場合ならば、「保留」の行動をとるべきである。七年目になる時、もし現況の変動は「1->2->2」または「1->2->3」のパターンに入る場合ならば、「改修」すべきであるが、それ以外の状況ならば「保留」すべきである。

一方、「想定居住期間 18 年」の場合なら、現時点で「改修」すべきであり、「想定居住期間 15 年」の場合なら、七年目まで「保留」の行動をとるべきであると考えられる。

5.最後に、可能解と思われる代替案のデシジョン・ツリーを作成する。ここでは、いくつかの代替案があげられ、説明例としてそれらのデシジョン・ツリーの作成結果を示す：(図 6-14)

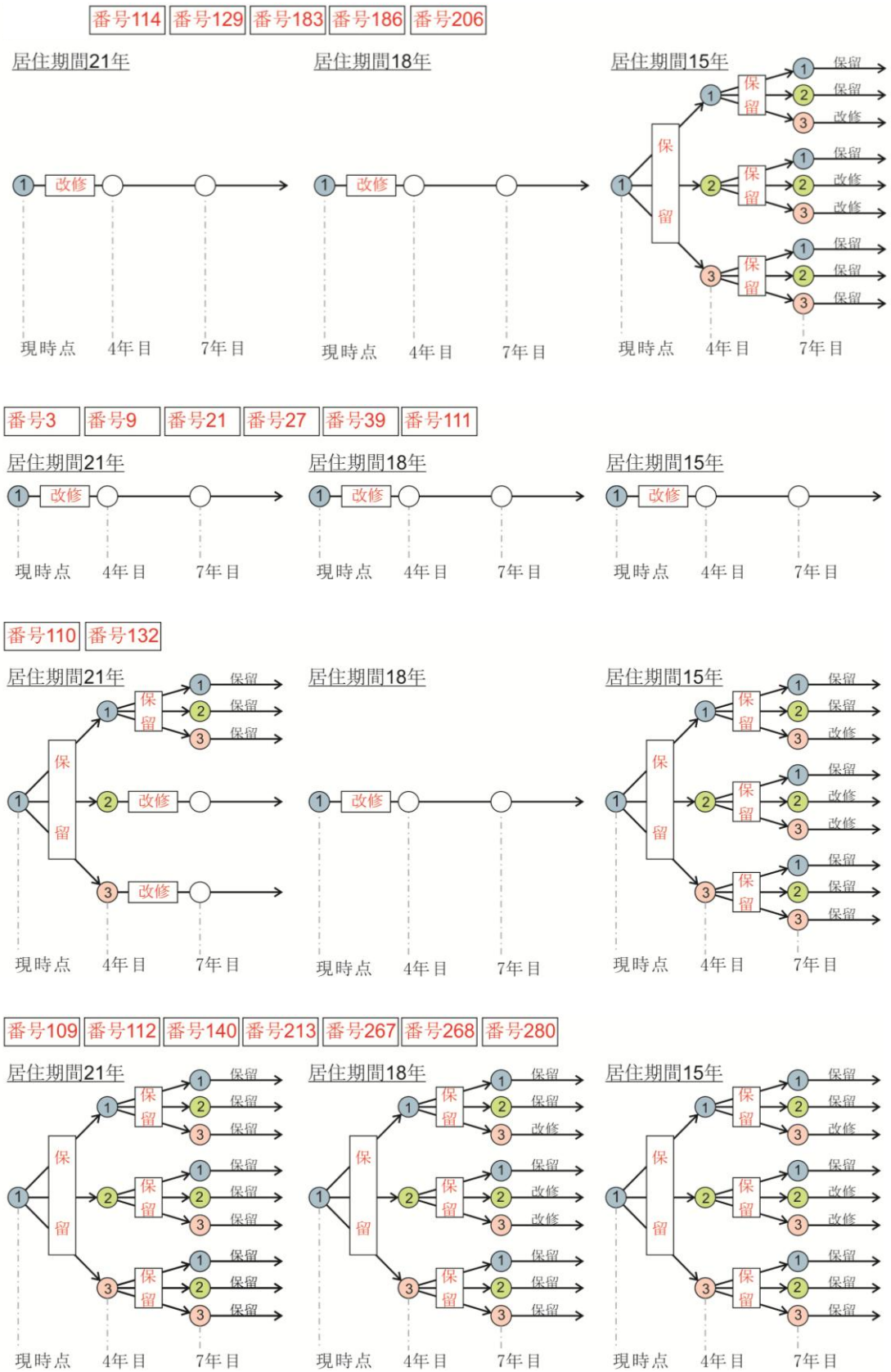


図 6-14 各代替案のデシジョン・ツリー

6-4-2 まとめ

第 6-3 節では、単一パターンの下、代替案の LCC 評価を行ったが、本節では、複数の想定パターンを同時に考慮し、デシジョン・ツリーを用いて代替案の LCC 評価を分析した。本節の分析結果によると、単一パターンの評価において現時点で「改修」すべきである代替案は、デシジョン・ツリーの分析により「保留」の結果になる可能性もあることが分かった(番号 109、110、112 など)。意思決定者にとって、その異なる可能性を把握することは、柔軟性のある対応策を立てることが可能となり、リスク回避という意味もあると考えられる。将来の変動という不確実性を考慮し、多くの変動状況とパターンを想定した評価手法は意思決定分析に役に立つと考えられる。

本研究における物価上昇・利子率の変動などの想定条件は、五章の考察に基づいて設定されたものであるが、イベント・ツリーにおける変動の確率は、本研究で仮定したものである。将来の変動を実際に予測するのは本研究の研究範囲に属さないため、如何に現実に近いイベント・ツリーを作るかという議論はしなかった。本研究の信頼性を高めるために、経済・統計・未来学の視点からイベント・ツリーの作り方を深く考察することは、今後の研究課題であると考えられる。

6-5 ケーススタディのまとめ

本ケーススタディから確認出来たことを以下に示す。

一般の LCC 評価手法では、物価・金利における連続で能動的な変動を外部要素として扱ったが、本研究ではそのような不確実性を内部要素として想定した上で、その変動の激しさも評価パラメーターとして設定した。また、これまで考慮していなかった、交換周期における不確実性を検討し、説明変数として LCC 計算に取り入れたことが、本研究の新規性である。ケーススタディとした、不確実性に対する一連の感度分析を行った結果により(表 6-4、6-6、6-8)、本研究の提案評価手法は、異なる不確実性下における代替案の優位性を把握することで、実施可否の判断が可能となり、意思決定に有用であると考えられる。

多数の代替案から、ユーザーの選好志向と要求に相応しい可能解を選び出すことは、意思決定を支援するための分析手法には重要な役割である。なお、一般の LCC 評価では、リスクに対する評価をしておらず、Yes or No 二元論的な分析結果しか出せないため、リスク選好志向が異なるユーザーに対応できないため、支援の効果があまり見えない。不確実性とリスクを評価する LCC モデルを用いた本研究は、ユーザーのリスク選好志向を考慮した

上で、柔軟性のある分析ができる意思決定過程モデルを試案した。二つのケーススタディ（ケース A: 表 6-13、ケース B: 表 6-15）を通じ、意思決定を支援するための分析手法として、本研究の提案の有用性が確認された。

意思決定を支援するための LCC 評価手法が、実際の既存住宅流通市場にあまり応用されていないのは現況である。一般の LCC 評価手法では、リスクに対する評価をしておらず、代替案の選出基準が不明確であり、Yes or No 二元論的な分析結果しか出せない。そのため、柔軟性のある分析に欠けて、リスク選好志向が異なるユーザーに対応できない、意思決定支援の効果が見えなくなる結果となる。これらの観点から、ユーザーのリスク選好志向を考慮した本研究の意思決定過程モデルは、柔軟性のある分析を提供することができており、意思決定に役立つと考えられる。

第七章 結論

本研究は、現時点の日本住宅流通市場における、居住者向けの、住宅への投資に関する意思決定手法の確立を急務の課題であると捉え、その手法を論じた。本研究の目的は次の二点であった：

- a) 居住行為に関わる意思決定を支援するための過程を提案すること
- b) 住宅 LCC 計算にかかわる不確実性を考慮した LCC 評価手法を提案すること

本研究は、既存住宅流通市場の現状を考察し、不確実性に関する既往研究をまとめ、LCC・ROA などの評価手法を比較した上で、これまで不確実性下の意思決定過程の課題に言及し得る分析手法、及び投資に対する評価手法を提案した。これらの手法の有用性に関しては、これまでの既往事例の考察に基づいた想定条件下のケーススタディを行うことで検証した。本章では、本研究の目的に対して遂げた成果、そして研究が進展する中で得た成果についてまとめる。

7-1 本研究の成果

7-1-1 住宅の修繕・改修・改築における意思決定手法

第三章の意思決定に関する既往研究により、不確実性下における意思決定を行う際に、選択可能な複数の代替案の中から、最善の解を選定することは難しいため、その意思決定を支援するための分析手法が如何に重要であるかが把握された。日本の既往住宅研究においては、意思決定を支援する目的で、LCC 評価手法を発展させているものも多く存在するが、住宅のユーザー（投資主体）を明確な情報をもって支援し得る分析手法には至っていない現況が把握された。その要因として、ユーザー側、すなわちデマンドエンド主体を意思決定過程に位置づけ、その主体が実際に向き合う、将来の不確実性に言及した研究が少ないためであると把握された。これらの背景を踏まえ、本研究はユーザーの位置づけを明確にした意思決定過程を提案した上で、不確実性下における住宅への投資効果を分析する LCC 評価手法を提案した。

本研究が提案する意思決定過程モデルでは、ユーザー(居住者)を含めた異なるプレイヤーの関係を位置づけ、各自の意思決定段階別の役割を明確した（図 4-1）。また各段階における検討事項と検討範囲を明確にしたため、現時点で情報が十分であり、検討可能である事項、また、今後、必要となる情報に関しても把握がされた。その中で、本研究が提案した

LCC 評価モデルは、意思決定を支援するサービスを提供し得る主体が利用することにより（代替案を検討した主体（業者）による利用も可能）、これまでユーザーが担ってきた意思決定の負担を軽減した。ケーススタディを通して、当初の Design Solution に対し、実際どの程度の可能解に絞り込めるか、その漏斗作用を検討した結果、十分な絞り込みの効果が把握され（第 6-3 節提示）、提案する意思決定過程モデルの有用性が、今回設定したパラメーターの範囲において、確かめられた。今回、情報の欠如により、保留したものとして、「与条件との比較段階」の基準値、労働価格の変動、省エネ効率の向上があげられたが（第 5 章）、本研究の手法と同様の研究方法論を用いることで、今後、それらの不確実性要因も、本意思決定過程モデルに取り入れられることも把握された。

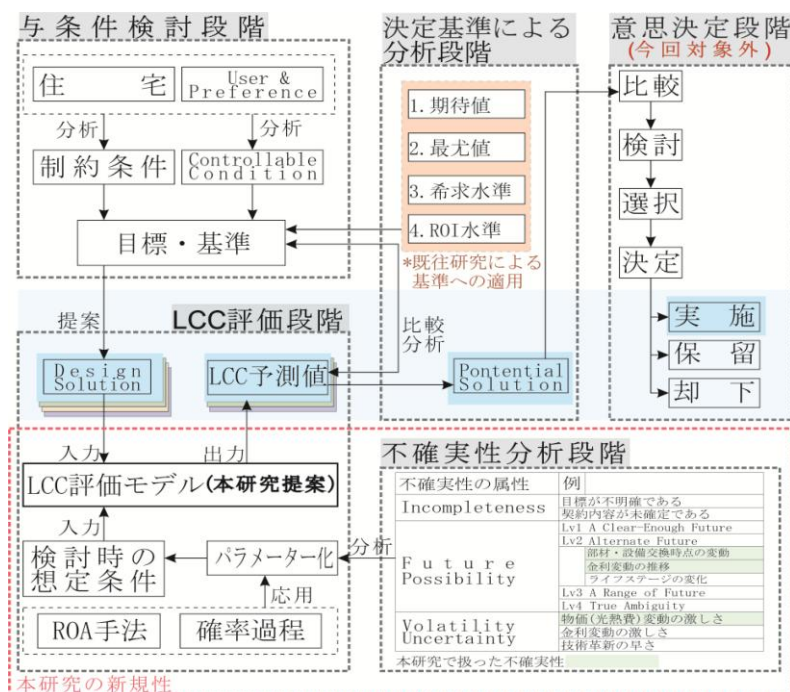


図 4-1 住宅の修繕・改修・改築における意思決定過程(本研究作成)

7-1-2 住宅 LCC にかかわる不確実性を評価した意思決定手法

既往研究より、これまでの LCC 評価手法は、統計などを用いた、主に過去の事象をもとに、将来に関する不確実性については固定値を用いて計算されてきたことが把握された。しかしながら、将来の不確実性に対するパラメーターが把握されない限り、既往研究が算出する LCC 評価値は、住宅投資に関する意思決定の支援には、有効利用されないことも把握された。そのため、本研究では、住宅 LCC 分析に存在する不確実性を検討し、過去の事象により今後の動向が把握できる不確実性を、パラメーター化して評価計算に組み込んだ。

一般の分析手法との相違は、本研究の評価モデルでは、時間経過と共に変動する「物価・利子率」の変動軌跡を二項分布確率過程で捉え、LCCを算出する方法を提案したことにあ
 る(図 4-3、4-4)。このことにより、計算の結果は局所的予測値ではなく、LCC 期待値と予
 測値の分布範囲・発生確率として把握できるようになった(図 6-4)。また、部材・設備の「交
 換周期」における変動の可能性に関しても、これまでの同等品交換による固定パターンで
 設定することとは異なり、分析結果を確率で扱うことにより、加重平均を用い LCC 期待値
 を算出した。このように不確実性を定量的に分析することを通じて、住宅の改修・改築に
 おける投資リスク、得られる効果・メリットをより詳細に把握することが可能となり、不
 確実な変動状況に対する対応策を立てることが出来るようになった。この LCC 評価手法が
 算出する結果を用いることで、次節にまとめる、より柔軟性のある意思決定を支援出来る
 と考えられる。

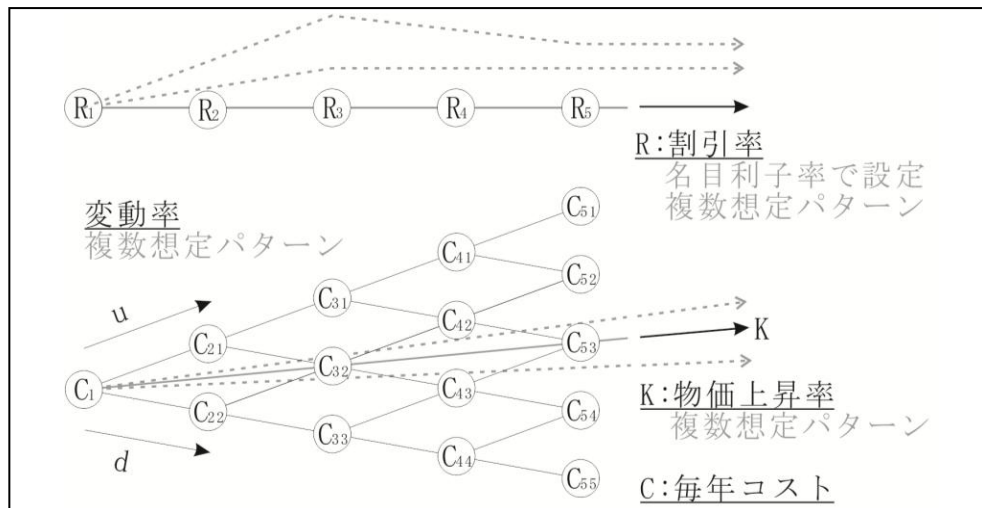


図 4-4 本研究における二項分布確率過程を用いたコスト変動の推定方法

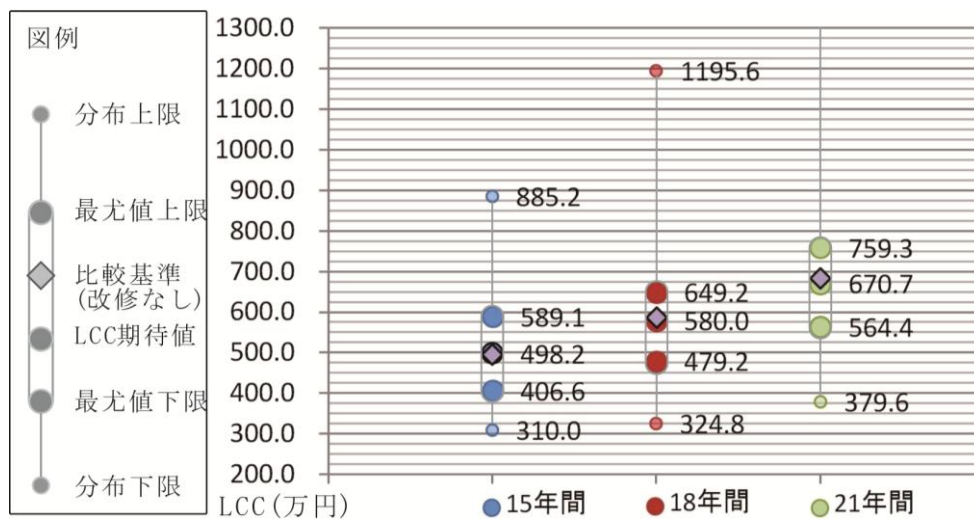


図 6-4 「物価変動(中)」における LCC 予測値分布範囲

7-1-3 意思決定者の選好志向を反映した意思決定過程

一般の LCC 計算には、不確実性の影響の結果生じる、余計なコストに関する可能性が示されていない恐れがあり、代替案を実行するか否かの問題に対して、導かれる回答は Yes or No という二元論的な結果となることが多く、意思決定者のリスクに対する志向が反映されていないと考えられる。本研究では、既往研究が示した「期待値」・「最尤値」・「希求水準」・「ROI」の四つの比較基準を用いることで、LCC 評価手法により限定された代替案を更にリスク評価した。改修投資の可否判断には「不可」・「可-回避型」・「可-選好型」・「良」・「リスクイ」五段階の指標を用意し、リスク選好志向の異なるユーザーに対応できる選定過程を提案した。比較基準は、ユーザー自ら決めた制御条件(好み・リスク選好志向など)次第で異なるため、それに対応して複数の代替案から選べる可能解も異なる。そして、LCC 予測値の計算結果は確率で表され、リスク選好志向により投資の可否判断が異なるため、問題に対する回答は二元論的な結果ではない、ユーザーの特性次第となる(表 6-9)。本研究の提案は、このような観点から、意思決定者の志向を反映した意思決定過程、及び分析手法である。

表 6-9 不確実な変動状況における投資可否の判断

不確実性		世帯構成変化(想定居住期間)		
		15年	18年	21年
物価変動	高	◎	◎	◎
	中	×	△	○
	低	△	○	△
金利変動	高	×	△	○
	中	×	△	○
	低	△	○	○
周期の長さ	短	×	○	○
	中	×	△	○
	長	○	○	○
△	期待値が基準値より高いが、最尤値が基準値より低い or 希求水準 6 万/年以上を満たす確率が 50%を越える			
	○ LCC 期待値と最尤値は改修なしの基準値より低い			
◎	LCC 期待値と最尤値が基準値より低い、希求水準が 50%以上に達する			
×	いずれの上述状況にも属しない			

7-1-4 将来の変動状況に適応する動的評価を用いた LCC 評価手法

これまでの DCF 法を用いた LCC 計算は、「意思決定時点において決定が択一的」であるため、将来の変化状況に対する適応性・柔軟性が欠如しており、「静的評価」と指摘されてきた。本研究では、将来の状況を複数の想定条件で設定した上で、変動の可能性をイベント・ツリーで表し(図 6-12)、「改修」と「保留」がもたらすオプション価値を算出することで、デシジョン・ツリー(図 6-13)を作成し、住宅改修代替案の将来の各時点での実施の可否判断を行った。ここで示した、ROA の概念を応用した分析手法は、意思決定時点が現在のみならず、将来の変動状況に適応することで実施時点・行動の調整が可能であるため「動的評価」と言え、ユーザーの意思決定判断に柔軟性をもたらすことが可能となった。

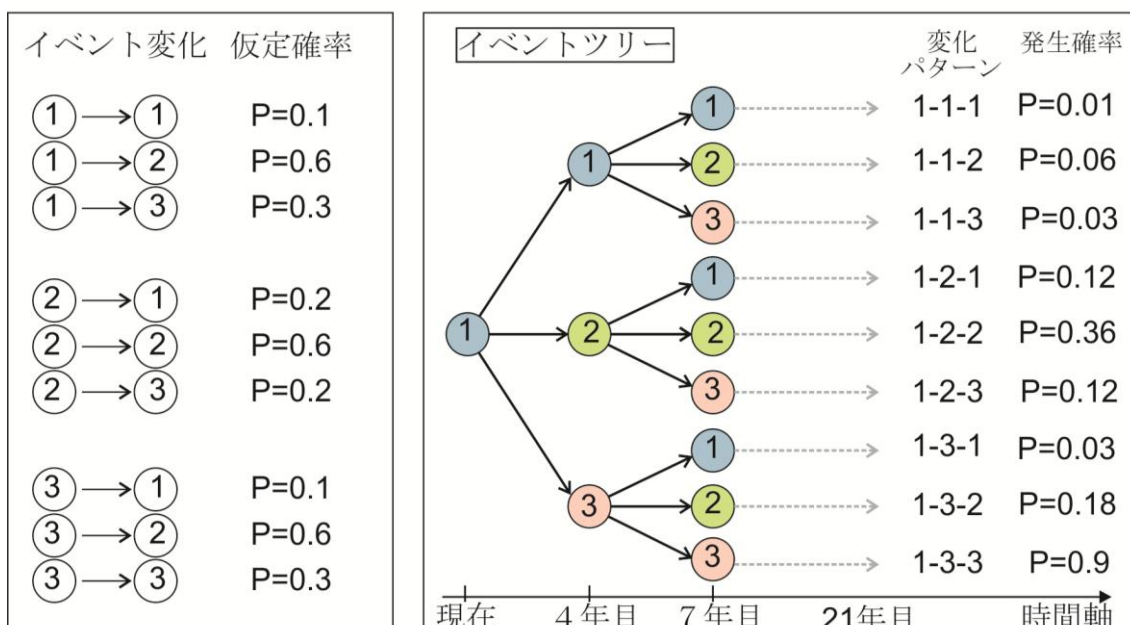


図 6-12 イベント変化の仮定とイベント・ツリー

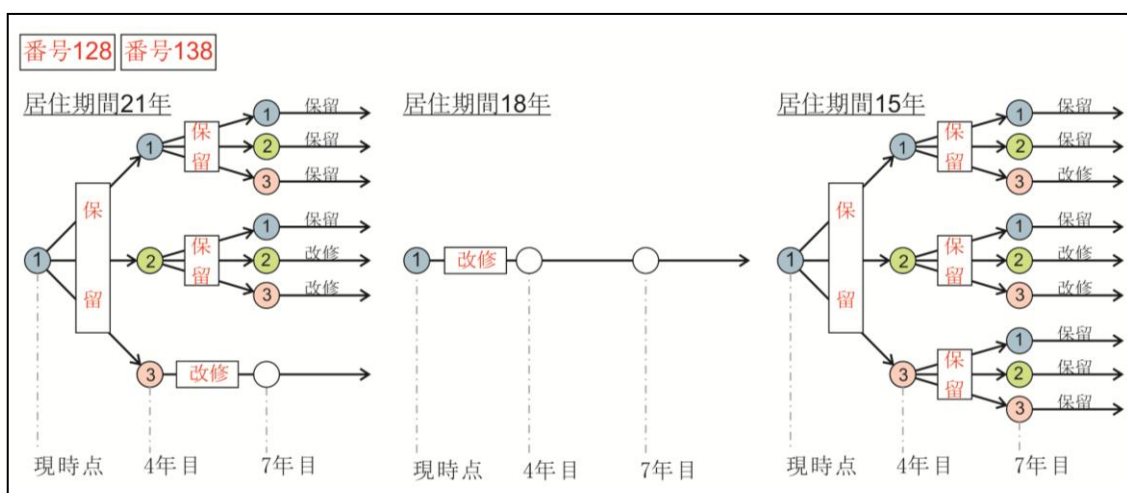


図 6-13 代替案のデシジョン・ツリー

7-1-5 本研究の成果のまとめ

上記に示した成果を、改めてまとめる。

本研究は、既存住宅への投資に関する意思決定過程に、将来の不確実性を考慮する仕組みをモデル化することで、各ステークホルダーの位置づけと検討事項の関係性を明らかにした。その意思決定過程において、投資主体の意思決定を支援する仕組みとして、不確実性をパラメーター化した LCC 評価手法を試案し、選択肢の漏斗プロセスを作成した。この評価手法は、ケーススタディを通して検証された。さらに、LCC 評価手法により評価された選択肢に関して、投資主体のリスクに対する志向を考慮するプロセスを位置づけ、LCC 評価手法が算出した計算値の使い方について言及し、その有用性を明らかにした。最終的に、将来の不確実性に対処する方法として、現時点において投資の決定を行うのではなく、将来へ投資を保留し得る仕組みを提示し、ユーザーが意思決定の柔軟性を持ち得るようにした。これらの成果をもって、より市場における現実性を考慮した意思決定過程を提示した。

7-2 今後の研究課題

本研究の提案は、不確実性要因を住宅に関する意思決定過程に組み込む研究の第一歩として、その研究範囲と対象を限定したが、今後の研究課題としてその研究範囲と対象を広げることがあげられる。また、研究範囲を限定したため、今後、提案したモデルと評価手法の実用性を向上させるために、さらに議論すべき事柄が存在する。これらに関して以下に、今後の研究課題としてまとめた。

1. 本研究の提案手法は、既存住宅流通円滑化対策の一環として、住宅(マンション)を対象にして検討を行ったが、手法自体が議論したのは意思決定過程と、そこにおける不確実性の影響であるため、他の対象にも応用できると考えられる。ただし、不確実性をパラメーター化する方法や LCC の評価方法に多少の相違点が存在すると考えられる。このような場合には、与条件を調整することで、本提案過程のバリエーションにより対応出来ると考える。例えば、賃金をあげるためにビル改修工事を行う場合には、与条件から LCC 評価モデルに至るまでの条件を以下のように検討するかもしれない：

ビルディングタイプ（商業施設）の制約条件：建築基準法および都市計画法による用途制限など。

オーナーによる制御条件：投資額の上限、投資回収期間の限定、リスク志向など。

目標・基準：投資収益率(ROI)

代替案：レイアウトプラン・テナント管理システムなど。

LCC 評価：改修工事費・賃料・税金・保険料・管理費など。

想定条件：入居業種・産業動向など。

不確実性：テナント入室率・テナント入居期間・都市計画の方向など。

また、意思決定過程中的の評価手法に関して、本研究では LCC を用いて代替案を評価したが、提案の目的によっては、評価手法を変更できると考えられる。例えば、改修工事を行うことで、どれだけ環境負荷の低減効果があるかという問題を分析する場合、LCC ではなく LCA(ライフサイクル・アセスメント)を用いて、同様のパラメーターと、意思決定過程に従うことで、不確実性に対応した分析、及び意思決定支援が可能であると考えられる。

2. 本研究の評価モデルから得た分析結果は、あくまでも予測値(Uncertainty Inclusive Number)にすぎないため、将来実際に発生する LCC は、時間が経過しないと分からないものである。従って、評価モデルの信頼性を検証するために、予測値と将来の実測値との比較は重要であり、実施から計算期間の満了までにおける、実際の LCC の把握も不可欠である。それは今後の研究課題となると考えられる。

3. 本研究では、住宅部品・設備の交換時点が確定できないことを不確実性として定義したが、既存の残存率に関するデータからは、交換の実の原因が機能の不具合であるか(機能不全)、個人の満足度を満たせないか(陳腐化)、という情報が欠如しているため、双方の要因がもたらす影響とその差異が今回の計算には反映できなかった。しかし、これらを別々の変数にして考慮することが、実際の住まい手の意思決定に対して役に立つと考えられるため、交換周期に存在する不確実性を考慮した LCC 評価に有用な情報を如何に蓄積・集計するかということは、今後の研究にとって重要な課題と考えられる。

4. 現実のマクロ経済環境の下で、「利子率」、「光熱費変動率」、及び「工事費変動率」は繋がっており、それらの変動は連動すると考えられるが、本研究の想定条件では、不確実要素として、それぞれが、どれだけ LCC に影響を与えるのかということ明らかにするため、各説明変数は独立変数として設定されている。そのため、計算結果と現実の間には、一定の乖離があると考えられるため、今後説明変数の設定は、より一層現実に近い条件を検討しなければならない。また今回は、将来の変動を予測することを、本研究の研究範囲としなかったため、如何に現実に近いイベント・ツリーを作るかということに関する議論をしなかった。本研究提案手法の信頼性を高めるためにも、経済・統計の視点からイベント・ツリーの作り方を深く考察していくことが、今後の研究課題であると考えられる。

参考文献

- [1] 株式会社リクルート住まいカンパニー, “2012年首都圏新築マンション契約者動向調査.” 2013.
- [2] 衆議院調査局国土交通調査室, “不動産市場活性化に関する施策の動向.” p. 18, 2013.
- [3] 不動産流通経営協会, “FRK 既存住宅流通量推計結果.” 2013.
- [4] W. Fawcett, H. Krieg, “Sustainable construction projects: case study of flexible strategies for long-term sustainability under uncertainty.” 2012.
- [5] 野城智也, “住宅履歴情報の整備に関する取組と今後の方向性.” 日本不動産学会誌 = The Japanese journal of real estate sciences 26(2), pp. 96-103, 2012.
- [6] 資源エネルギー庁, “平成22年度省エネルギー政策分析調査事業「家庭におけるエネルギー消費実態について」.” 2011.
- [7] 持留崇志, 銚井修一, 高村正彦, 鈴木淳, “窓断熱改修による温熱環境改善および冷暖房エネルギーの削減.” 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 329-336, 2011.
- [8] 多田聡, 木村博則, 石塚義高, “建築ストック活用とそのライフサイクル評価の検討 その1 収益性を考慮したLCC計算手法の検討.” 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1251-1252, 2011.
- [9] 中村美保子, 須永修通, 大塚弘樹, 一坊寺英夫, “既存住宅の開口部に設置する断熱内戸に関する研究.” 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 569-570, 2011.
- [10] 国土交通省, “既存住宅流通・リフォーム市場の現状.” 2010.
- [11] 足立基浩, “中心市街地の店舗に存在するリアルオプション価値の計測.” 経済理論(355), pp. 21-44, 2010.
- [12] 津田晃宏, 須永修通, 大塚弘樹, 一坊寺英夫, “温熱環境改善を目的とした開口部に設置する断熱内戸に関する研究.” pp. 455-456, 2010.
- [13] 優良ストック住宅推進協議会, 三つ星流通住宅. 2010, pp. 124-134.
- [14] H. Courtney, Jane Kirkland, Patrick Viguerie, “不確実性時代の戦略思考.” ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス, pp. 64-81, 2009.
- [15] J. Kelly, Kirsty Hunter, “Life_cycle_costing_of_sustainable_design.pdf.” RICS research Report, 2009.

- [16] 横関洋一, “長期優良住宅普及促進法の成立と課題.” 立法と調査 No. 289, p. 154-168, 2009.
- [17] 原野啓, 中川雅之, 清水千弘, 唐渡広志, “情報の非対称性下における住宅価格とリフォーム.” CSIS ディスカッションペーパー、no. 94, 2009.
- [18] 国土交通省, “不動産鑑定評価基準.pdf.” 国土交通省, pp. 20-28, 2009.
- [19] 坂本雄三, 赤嶺嘉彦, 河野匡史, “東京大学・本部棟における窓断熱改修の効果検証(その1、2).” 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 209-212, 2009.
- [20] 早津隆史, 松嶋加奈, 石崎竜一, 桑沢保夫, 齋藤宏昭, 瀬戸裕直, 坂本雄三, 澤地孝男, “RC造集合住宅の省エネルギー改修に関する研究(その1、2).” 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 43-46, 2009.
- [21] 野城智也, 中城康彦, 腰原幹雄, “住宅履歴情報がつくるこれからの住まいと暮らし.” 住宅、58(7), 2009.
- [22] 齊藤広子, 中城康彦, 住まい・建築のための不動産学入門. 2009, pp. 17-19.
- [23] パクミンソン, 荻島理, 全貞ユン, 依田浩敏, 谷本潤, 和田宗憲, “集合住宅の環境性能に対する消費者選好の韓国と日本の比較研究.” 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1185-1186, 2008.
- [24] リクルート住宅総研, “わが国の既存住宅流通市場の現状.” p. 19, 2008.
- [25] 高嶋隆太, “リアルオプションの発電事業への適用.” オペレーションズ・リサーチ経営の科学 53(11), pp. 608-613, 2008.
- [26] 山崎古都子, 金貞仁, 上村要司, 李容圭, “既存住宅の耐用性に関する日韓比較研究.” 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1531-1532, 2008.
- [27] 清水千弘, “近隣外部性を考慮したヘドニック住宅関数の推定.” 麗澤経済研究、16(1), pp. 29-44, 2008.
- [28] 村上心, 橋本雅好, 川野紀江, “中古住宅ストックの標準基準に関する研究.” 2008.
- [29] 田中祥子, “知的資産評価とリアル・オプション・アプローチ.” 高岡法学 19(12), pp. 148-142, 2008.
- [30] 齊藤広子, 中城康彦, 戸田聡子, “米国カリフォルニア州における住宅売買時の情報と専門家の役割.” 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1381-1384, 2008.
- [31] 齊藤広子, “民間企業の中古住宅市場活性化への取り組み--適正化情報開示による中古住宅の取引のために” 住宅 50(8), pp. 39-47, 2001.

- [32] 江口亨, 松村秀一, 見立龍之輔, “既存建築ストックの有効活用に対する行政支援の実態調査-地方都市におけるコンバージョンの展開可能性に関する研究.” 日本建築学会学術講演梗概集, pp. p793-794, 2007.
- [33] 山崎古都子, “住宅ストックのフロー化の可能性.” 滋賀大学環境総合研究センター研究年報 Vol. 4、No. 1, 2007.
- [34] 山崎古都子, 足立智也子, “町並みの評価に潜在する既存住宅のストック化の可能性.” 滋賀大学環境総合研究センター研究年報 Vol. 4、No. 1, pp. 37-54, 2007.
- [35] 石塚義高, 建築経済学と LCC. 2006.
- [36] 早川玲理, 浅見泰司, “住まい意向に基づく住宅市場細分化.” 日本建築学会計画系論文集(607), pp. 127-133, 2006.
- [37] 長野幸司, 頼あゆみ, 渡瀬友博, and 宇杉大介, “住宅の資産価値に関する研究.” 国土交通政策研究(65), p. 15, 2006.
- [38] 堤洋樹, 三根直人, “集合住宅の住み替え意識に関する調査研究.” 日本建築学会九州支部研究報告(45), pp. 45-48, 2006.
- [39] 柏木吉基, Excel で学ぶ意思決定論. 2006.
- [40] R. Flanagan and C. Jewell, Whole Life Appraisal for construction. 2005.
- [41] K. Hunter and J. Kelly, “The Development of a whole life costing tool for local Government in the UK.” QUT Research Week, 2005.
- [42] 許文昌, 不動産評価理論. 2005.
- [43] 公益社団法人ロングライフビル推進協会・BELCA, 建物のライフサイクルと維持保全. 2005.
- [44] 高橋宏直, 吉田二郎, 山本幸司, “社会資本整備の評価手法へのリアルオプションの適用に関する研究.” 国土技術政策総合研究所研究報告 No22, 2005.
- [45] 小原誠, 長生き建築の仕組み-ライフサイクル計画論. 2005, pp. 164-189.
- [46] 上野清貴, “リアル・オプション会計と不確実性 Real Options Accounting and Uncertainty.” 長崎工業経営専門學校大東亞經濟研究所年報 85(12), pp. 1-32, 2005.
- [47] 久保田孝幸, 長尾覚博, 齊藤広子, 中城康彦, “集合住宅における多世代居住手法に関する研究 ライフステージの変化に対応する空間量可変手法の検討.” 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 207-208, 2004.

- [48] 竹村和久, 吉川肇子, 藤井聡、, “不確実性の分類とリスク評価.” 社会技術研究論文集、Vol.2, pp. 12-20, 2004.
- [49] U. Beck, D. S. der Wörter, 島村賢一(訳), 世界リスク社会論—テロ・戦争・自然破壊. 2003.
- [50] R. de Neufville, “Architecitng & Designing Engineering Systems Using Real Options.” working paper series、ESD Internal Symposium, 2003.
- [51] 五十嵐健, 嘉納成男, “資源循環型集合住宅のライフサイクルコストの評価.” 日本建築学会計画系論文集 (568), pp. 101-108, 2003.
- [52] T. Copeland, V. Antikarov, 柄本克之監訳, リアル・オプション戦略フレキシビリティと経営意思決定. 東洋経済新報社, 2002, pp. 125-136.
- [53] J. C. Mun , 川口有一郎(監修), Real Option analysis リアル・オプションのすべて. 2002.
- [54] 嘉納成男, 五十嵐健, “資源循環型社会に向けた住宅生産システムの経済性評価に関する基礎的研究.” 日本建築学会計画系論文集(555), pp. 279-286, 2002.
- [55] 小野広哉, 高辻秀興, 清水千弘 :, “品質を考慮した中古マンション価格モデルの推定.” 麗澤経済研究、10(2), pp. 81-102, 2002.
- [56] W. Fawcett, I. Ellingham, “OPTIONS-BASED EVALUATION OF FACADE REFURBISHMENT ALTERNATIVES.” 2001.
- [57] 新井富雄, “経営戦略とリアルオプション.” 知的資産創造、4月号, 2001.
- [58] 守谷謙一, 近江隆, 石坂公一, “AHPによる重要度評価を用いた部材選定方法及び修繕計画策定手法に関する研究.” 日本建築学会計画系論文集 (535), pp. 215-222, 2000.
- [59] 小松幸夫, 遠藤和義, “戸建住宅のライフサイクルコストの推計.” 日本建築学会計画系論文集(534), pp. 241-246, 2000.
- [60] 梅田和彦, 橋口裕文, 坪田正平, 石井映二, “戸建て住宅のライフサイクルコスト評価の試み.” 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 947-948, 2000.
- [61] 金本良嗣, 都市経済学. 東洋経済新報社, 1997, pp. 97-99.
- [62] 竹村和久, 市川伸一(編), 意思決定とその支援、認知心理学 4巻・思考. 1996, pp. 81-105.
- [63] 木下栄蔵, 意思決定論入門. 1996.

- [64] 建設大臣官房官庁営繕部監修, 建築保全センター編集, 建築物のライフサイクルコスト、p13-26、1993. 日本建築学会学術講演梗概集, 1993, pp. 13-26.
- [65] 張金鶚, 房地產投資与市場分析-理論与実務. 1993.
- [66] ロジャー・フラナガン、ジョージ・ノーマン著、建築・設備維持保全推進協議会誌, “ロジャー・フラナガン、ジョージ・ノーマン著、 建築・設備維持保全推進協議会誌,” 1988.
- [67] 飯田耕司, 意思決定分析の理論, 2005.
- [68] 坂恒夫, “物質科学・生物科学・社会科学における不確実性.” 岐阜薬科大学紀要(57), pp. 21-23, 2008.
- [69] 高安秀樹, 経済物理学の発見, 2004.
- [70] Daford Howard S, 不合理な地球人—お金とココロの行動経済学, 2010.
- [71] Ian Ellingham, William Fawcett, New Generation Whole-life Costing, 2006.
- [72] R. Blok, F.V.Herwijnen, Alksander Kozlowski, Szczepan Wolinski, “Service life and life cycle of building structures.” 2006.
- [73] M. N. Grussing, L. R. Marrano, “Building Component Lifecycle Repair/Replacement Model for Institutional Facility Management.” 2007.

付録

付録1 マンション購入・改修実態に関するヒアリング調査

2013/0719/1600 芝崎・森下・高田・廖

1. 購入、リフォーム傾向
 - リフォーム済み物件を選ぶ →多い
 - 購入直後、済む前にリフォームする →多い
2. 東京都心と都心以外における購入傾向
 - 東京都心：売れる前提で資産として購入する（価値が維持できる物件）
 - サイクル設定→10年程度（5年以下譲渡所得税、譲渡住民税→高くなる!）
 - 夫婦共働き、子供なし場合が多い（価格主に6000万以上高いため）
 - 地方：生活前提で購入
 - 2人以上世帯なら、50m²以下の購入ケースが少ない（登記簿面積50平米以下なら、住宅ローン減税の対象から外れる）

*専有部分の床面積が50以上280以下（店舗併用住宅では2分の1以上が居住用）の居住用住宅において、当該専有面積の120までの部分について

 - ・3階建以上の耐火・準耐火建築物（マンションなど）は5年度分
 - ・その他の住宅（戸建など）は3年度分

固定資産税を2分の1にする（但し建物部分のみで土地は対象外）という特例です。読者の方もほとんどが利用されていると思いますが、当該特例はマンションでは5年間です。つまり6年目からは本来の税額となり、固定資産税が倍額となるのです。お心当たりの読者ご注意ください。
3. リフォーム行為（意思決定）
 - 管理組合単位：修繕・改修計画により
 - 大規模修繕改修→外壁・共用部（約10年ごと）
 - 定期点検・修繕（約年一回）
 - 資金→積立金（1000円/年程度上がる）
 - 世帯単位：購入後20-30年→快適さに関する必要性があるので改修する
 - 老朽化、故障、不具合など
 - バリアフリー改修
 - 世帯構成の変化のきっかけでの改修は少ない
4. リフォーム制限：（管理契約により）
 - 専有部扉・窓とサッシ 衝撃音 LL-45
5. ランニングコスト：2-4万円/月
 - 内訳は？固定支出（税金・積立金・ローン・保険料など）
 - 居住者次第支出（保険料・光熱費・生活費・学習費）
 - 改修するための初期投資費用は2万/月以上だったら、あまりしない
 - 主に電気代（特に311の後重視される）（水道料安いので）

6. 本研究ツール有用性・応用性

水資源・電力

各国の条件でのシミュレーション <→> 経済環境(利子率・物価など) ---->メリット

・デメリット

工事コスト(人件費など)

技術力(効率など)

例：日本・シンガポール・中国などの比較

7. 断熱改修、省エネ改修におけるビフォーアフター効果に関する検証がない

提示できるデータもない-->あればいい！！

改修効果が知らないの、やらない-->意思決定に難しい要因！

8. 不動産仲介のサービス

維持管理計画の提案サービスある(個人的サービスはない)

キャッシュフローを検討するサービルがない-->FP(Financial Plan)の業務だから。

履歴情報の保存・トラブル相談と助言-->ない

キャッシュフロー・FP・維持管理計画を統合するサービスが役に立つかも(プラス要素)

9. FPシミュレーション：

居住者背景-->統計資料 居住者特性

埼玉、千葉、神奈川 公立、私立、学費子供手当、医療費など

10. 目標対象：マンション・東京都心以外(横浜、川崎、松戸など)

構造：鉄筋コンクリート

築後年数：10年程度

居住者世帯構成パターン：a. 夫婦のみ

b. 夫婦+子供1-2人(学齢前幼児)

c. 夫婦+子供1-2人(思春期前後)

価格帯：3000-4000万台(年収の7倍ぐらいは目安)

間取り：1LDKまたは2LDK(a)、2LDKまたは3LDK(b)(c) (50m²以下無理)

年収：450-650万(片働き)

11. 心理的瑕疵 価格三割程度下落

大島てる(事故物件検索ウェブサイト)

<http://www.oshimaland.co.jp/>

付録 2 光熱水道費に関する家計調査

総務省統計局・家計調査により、過去 25 年の統計結果の整理

統計局のデータ		一世帯当たり光熱・水道支出(単位：円)					
		単身世帯			二人以上世帯		
年次		平均 (一年)	平均 (一か月)	35歳未満 (一か月)	平均 (一年)	夫婦共働き (一か月)	高齢夫婦
1985	昭和 60 年					15,991	
1986	昭和 61 年					15,648	
1987	昭和 62 年					14,547	
1988	昭和 63 年				195,914	14,392	
1989	平成元年				195,136	14,761	
1990	平成 2 年				205,769	15,803	
1991	平成 3 年				215,779	16,371	
1992	平成 4 年				222,191	16,610	14,439
1993	平成 5 年				228,370	17,310	14,341
1994	平成 6 年				234,376	18,018	15,065
1995	平成 7 年		8,698	7,200	238,956	17,899	15,237
1996	平成 8 年		8,653	6,724	243,719	18,297	16,171
1997	平成 9 年		9,249	7,517	252,810	19,116	16,952
1998	平成 10 年		9,355	7,594	252,358	19,350	16,947
1999	平成 11 年		9,477	8,157	250,488	19,095	16,772
2000	平成 12 年		9,895	7,960	257,737	19,399	17,564
2001	平成 13 年		9,358	6,617	258,353	19,714	17,951
2002	平成 14 年		9,290	6,601	254,067	19,405	17,901
2003	平成 15 年	114,282	9,523	7,251	251,066	19,185	17,461
2004	平成 16 年	116,095	9,673	7,140	252,143	19,611	17,743
2005	平成 17 年	118,732	9,894	6,894	257,940	19,601	18,489
2006	平成 18 年	123,226	10,267	6,736	267,346	20,417	19,102
2007	平成 19 年	122,941	10,245	7,168	261,232	20,014	18,729
2008	平成 20 年	131,998	10,996	7,732	273,156		
2009	平成 21 年	127,784	10,649	6,739	260,229		
2010	平成 22 年	128,851	10,737	6,997	263,423		

データ出典
総務省統計局・家計調査

家計調査の統計データにより推定された光熱水道費の年平均上昇率は、以下になる：

1990～2010年、光熱費の年平均上昇率＝1.5%

1990～2000年、光熱費の年平均上昇率＝2.1%

2000～2010年、光熱費の年平均上昇率＝0.9%

2011年以後の年間光熱水道費推測値は、総務省統計局・家計調査における過去30年の統計結果に基づき、Microsoft Excelの「Forecast」関数で算出したものである。

一世帯当たり、年平均光熱・水道支出の推定値(本研究作成)				
年次	一年間の支出(単位：円)			
	単身世帯	夫婦二世帯	夫婦+子供三世帯	高齢世帯
2011	130,539	256,615	307,938	244,556
2012	132,135	259,342	311,210	248,157
2013	133,732	262,069	314,483	251,758
2014	135,328	264,796	317,755	255,358
2015	136,924	267,522	321,027	258,959
2016	138,521	270,249	324,299	262,560
2017	140,117	272,976	327,571	266,160
2018	141,714	275,703	330,843	269,761
2019	143,310	278,429	334,115	273,362
2020	144,906	281,156	337,387	276,962
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2035	168,852	322,057	386,469	330,973
2036	170,449	324,784	389,741	334,574
2037	172,045	327,511	393,013	338,174
2038	173,642	330,238	396,285	341,775
2039	175,238	332,965	399,557	345,376
2040	176,834	335,691	402,830	348,977
2041	178,431	338,418	406,102	352,577
2042	180,027	341,145	409,374	356,178
2043	181,624	343,872	412,646	359,779
2044	183,220	346,598	415,918	363,379
2045	184,817	349,325	419,190	366,980

光熱水道費構成の内訳(単位：円)								
年次		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
		月平均	月平均	月平均	月平均	月平均	月平均	月平均
光熱・水道料金		21,379	22,097	21,614	22,694	21,605	21,951	21,954
内訳	電気代	9,151	9,365	9,163	9,737	9,574	9,850	9,591
	ガス代	5,604	5,804	5,694	6,006	5,749	5,514	5,449
	他の光熱	1,598	1,905	1,712	1,900	1,270	1,537	1,833
	上下水道料	5,026	5,022	5,046	5,052	5,012	5,049	5,081
世帯人員(人)		3.15	3.12	3.10	3.11	3.10	3.09	3.08
18歳未満人員(人)		0.65	0.64	0.63	0.64	0.66	0.63	0.62
65歳以上人員(人)		0.61	0.62	0.66	0.64	0.65	0.68	0.69
うち無職者人員(人)		0.50	0.51	0.54	0.52	0.53	0.55	0.57
データ出典 総務省統計局・家計調査								

付録3 省エネ改修工事項目および見積り

■サッシ想定サイズ

※サッシサイズを下表の寸法として見積もりました。

(mm)

NO.	サッシ幅	サッシ高さ	窓タイプ	個所数(室名は改修前のプランによる)
1	1800	1900	引き違いサッシ	3か所 (和室1、和室2、和室3)
2	1600	1100	同上	1か所 (和室1)
3	1600	900	同上	2か所 (洋室)

■インナーサッシ設置 ① …材工

樹脂サッシ YKKAP プラマードU 5mm厚透明ガラス(単板)

サッシ NO.	単価	個所数	金額	備考
1	81,000	3	243,000	
2	43,500	1	43,500	
3	39,000	2	78,000	
調査・運搬	17,000	1	17,000	
計			381,500	

■インナーサッシ設置③ …材工

樹脂サッシ YKKAP プラマードU 複層ガラス 3mm-A12mm-Low-E3mm 透明

サッシ NO.	単価	個所数	金額	備考
1	123,000	3	369,000	
2	64,500	1	64,500	
3	59,000	2	118,000	
調査・運搬	17,000	1	17,000	
計			568,000	

■便器節水

(円)

NO.	見積機種	単価	備考
1	ネオレスト ハイブリットシリーズ RHタイプ床排水	256,000	大3.8L 小3.3L
2	ネオレスト ハイブリットシリーズ Dタイプ床排水	204,000	大6L 小5L
3	GGシリーズ	158,000	大4.8L 小3.6L
施工費		20,000	施工費はすべて共通

■ユニットバス浴槽

(円)

NO.	見積機種	単価	備考
資材金額差	パナソニック製ユニットバス MR-X 保温浴槽の有無による金額差	14,700	1100×1600 サイズから 1600×2000 サイズまで 金額差同額
施工費		0	保温浴槽による金額差なし

※上記の製品が保温浴槽有無による金額差が明確な為、これを選定した。

■ユニットバス シャワー水栓 (節水)

(円)

NO.	見積機種	単価	備考
資材金額差	パナソニック製ユニットバス MR-X 節水シャワー水栓と一般シャワー水栓による金額差	11,800	
施工費		0	保温浴槽による金額差なし

■エアコン

(円)

NO.	見積機種	単価	備考
1	パナソニック Fシリーズ CS-223CF(6畳用)	48,000	COP4.21 APF5.9
2	パナソニック Fシリーズ CS-363CF2(12畳用)	91,000	COP3.27 APF5.1
施工費	取付費 26,000円 既存品撤去費 7,300円 処分費 6,500円	39,800	上記2機種共通(1台分)

従来品継続使用の場合(クロス等工事中の脱着)

NO.	見積機種	単価	備考
着脱費	エアコン1台分	20,000	

■ガス給湯器

NO.	見積機種	単価	備考
1		0	既存品の継続使用
2	ノーリツ 24号フルオート GT-2452AWX-TBL	150,000	従来タイプのガス給湯器
3	ノーリツ ECO ジョーズ 24号フルオート GT-CV2452AWX-TBL	266,000	排気熱・潜熱回収システムの ガス給湯器
施工費		30,000	2,3共通

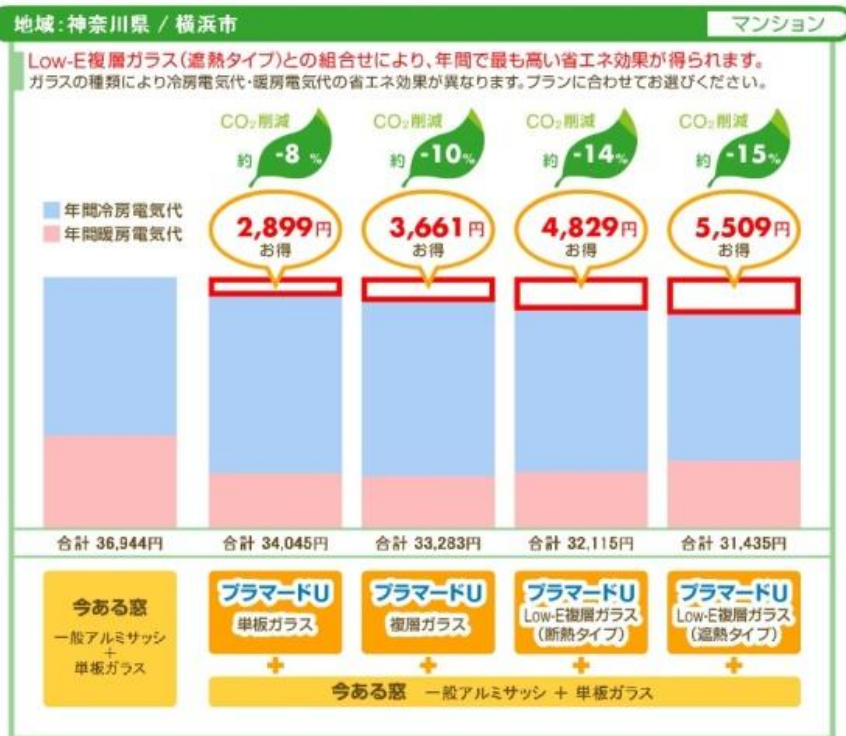
■照明器具従来タイプ(白熱灯+蛍光灯)

室名	照明タイプ	機種	消費電力	単価	個数	金額
玄関	白熱電球	ダウンライト60W	47W	1,800	2	3,600
廊下	白熱電球	ダウンライト60W	47W	1,800	2	3,600
浴室	白熱電球	ブラケット10W	10W	±0	1	±0
洗面	白熱電球	ダウンライト60W	47W	1,800	2	3,600
洗面台	蛍光灯	洗面付属品 20W	23W	±0	1	±0
トイレ	白熱電球	ダウンライト60W	47W	1,800	1	1,800
キッチン	蛍光灯	天井灯 40W	45W	7,000	1	7,000
	蛍光灯	手元灯 15W	19W	3,500	1	3,500
	白熱電球	ペンダント 60W	47W	5,100	2	10,200
リビング	蛍光灯	天井灯 86W	71W	9,300	1	9,300
こども室	蛍光灯	天井灯 66W	60W	8,700	1	8,700
寝室	蛍光灯	天井灯 66W	60W	8,700	1	8,700
					計	60,000

■照明器具省エネタイプ(LED)

室名	照明タイプ	機種	消費電力	単価	個数	金額
玄関	LED	ダウンライト6.4W	6.4W	3,100	2	6,200
廊下	LED	ダウンライト6.4W	6.4W	3,100	2	6,200
浴室	LED	ブラケット11.2W	11.2W	+4,500	1	+4,500
洗面	LED	ダウンライト6.4W	6.4W	3,100	2	6,200
洗面台	LED	洗面付属品 8.8W	8.8W	+4,200	1	+4,200
トイレ	LED	ダウンライト6.4W	6.4W	3,100	1	3,100
キッチン	LED	天井灯 29.5W	29.5W	17,500	1	17,500
	LED	手元灯 6.7W	6.7W	9,300	1	9,300
	LED	ペンダント 8.5W	8.5W	12,000	2	24,000
リビング	LED	天井灯 41W	41W	14,500	1	14,500
こども室	LED	天井灯 35W	35W	12,100	1	12,100
寝室	LED	天井灯 35W	35W	12,100	1	12,100
					計	119,900

付録 4 内窓省エネ効果



試算条件
はこちら

このシミュレーションは特定の試算条件をもとに算出しています。
住宅の大きさ、生活者の人数など条件によって異なりますので、
目安としてご利用ください。

[住宅選択へ戻る](#)

- 我が家の省エネシミュレーション



試算条件 (マンション)

住宅モデル	住宅の次世代省エネルギー基準と指針記載のモデルに準拠 最上階妻側住戸、延床面積:74.17㎡、開口率(玄関含む):17.9%
想定生活者	4人
想定暖冷房機器	エアコン COP 暖房:2.97 冷房:2.67
暖冷房設定	暖房:20°C、冷房:27°C・60%
暖冷房運転方法	住宅標準問題のスケジュールを基にした間欠運転
気象データ	「拡張アメダス気象データ」2000年版 標準年 ((社)日本建築学会)
住宅断熱仕様	昭和55年省エネルギー基準適合レベル
プラマードU設置箇所	全窓(玄関は除く)
日射遮蔽(カーテン等)	無し
電気料金	22円/kWh(税込み) ((社)全国家庭電気製品公正取引協議会 新電力目安単価)
電気のCO ₂ 排出原単価	各地域の電気会社における2008年度排出原単価

COPYRIGHT (C) YKK AP Inc. ALL RIGHTS RESERVED

付録5 エアコン消費電力推移

消費電力 (kWh)	冷房期間	暖房期間	総計	前年比	効率上昇 率	劣化率 (2013 と比べ)
1995	412	1080	1492			
1996	347	955	1302	0.87265	13%	
1997	312	889	1201	0.92243	8%	
1998	300	859	1159	0.96503	3%	
1999	278	790	1068	0.92148	8%	
2000	262	755	1017	0.95225	5%	80%
2001	252	738	990	0.97345	3%	70%
2002	241	706	947	0.95657	4%	60%
2003	242	721	963	1.0169	-2%	50%
2004	237	708	945	0.98131	2%	40%
2005	227	692	919	0.97249	3%	35%
2006	217	665	882	0.95974	4%	30%
2007	213	652	865	0.98073	2%	25%
2008	214	644	858	0.99191	1%	20%
2009	212	637	849	0.98951	1%	16%
2010	221	651	872	1.02709	-3%	12%
2011	213	632	845	0.96904	3%	8%
2012	214	632	846	1.00118	0%	4%
データ出典：日本冷凍空調工業会						

付録 6 名目利子率・物価指数の推移

過去 20 年間に於ける名目利子率および物価指数の統計データ					
年次	基準割引率	国内企業物価指数	年次	基準割引率	国内企業物価指数
	年平均	総平均(前年比)		年平均	総平均(前年比)
1992	3.25	-0.975	2003	0.1	-0.53
1993	2.06	-1.775	2004	0.1	1.54
1994	1.75	-1.35	2005	0.1	1.91
1995	0.71	-0.967	2006	0.38	1.99
1996	0.5	-1.49	2007	0.75	2.3
1997	0.5	1	2008	0.56	3.24
1998	0.5	-2.167	2009	0.3	-5.16
1999	0.5	-0.875	2010	0.3	0.51
2000	0.46	-0.383	2011	0.3	1.34
2001	0.16	-2.46	2012	0.3	-1.06
2002	0.1	-1.63	2013	0.3	1.3

データ出典：日本銀行、時系列統計データ検索サイト

付録 7-1 本研究の分析対象となる省エネ改修代替案

番号	工事費用	◇レベル1			◆レベル2		★レベル3
		電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明器具	節水便器	節水水栓	高効率ガス給湯器
1	1					◇	
2	16					◇	◇
3	26					◇	◆
4	0						
5	15						◇
6	25						◆
7	19				◇	◇	
8	34				◇	◇	◇
9	44				◇	◇	◆
10	18				◇		
11	33				◇		◇
12	43				◇		◆
13	29				◆	◇	
14	44				◆	◇	◇
15	54				◆	◇	◆
16	28				◆		
17	43				◆		◇
18	53				◆		◆
19	7			◇		◇	
20	22			◇		◇	◇
21	32			◇		◇	◆
22	6			◇			
23	21			◇			◇
24	31			◇			◆
25	25			◇	◇	◇	
26	40			◇	◇	◇	◇
27	50			◇	◇	◇	◆
28	24			◇	◇		
29	39			◇	◇		◇
30	49			◇	◇		◆
31	35			◇	◆	◇	
32	50			◇	◆	◇	◇
33	60			◇	◆	◇	◆
34	34			◇	◆		
35	49			◇	◆		◇
36	59			◇	◆		◆
37	31		◇			◇	
38	46		◇			◇	◇
39	56		◇			◇	◆
40	30		◇				
41	45		◇				◇
42	55		◇				◆
43	49		◇		◇	◇	
44	64		◇		◇	◇	◇
45	74		◇		◇	◇	◆
46	48		◇		◇		

番号	工事 費用	◇レベル1			◆レベル2		★レベル3
		電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明器具	節水便器	節水水栓	高効率ガス給湯器
47	63		◇		◇		◇
48	73		◇		◇		◆
49	59		◇		◆	◇	
50	74		◇		◆	◇	◇
51	84		◇		◆	◇	◆
52	58		◇		◆		
53	73		◇		◆		◇
54	83		◇		◆		◆
55	37		◇	◇		◇	
56	52		◇	◇		◇	◇
57	62		◇	◇		◇	◆
58	36		◇	◇			
59	51		◇	◇			◇
60	61		◇	◇			◆
61	55		◇	◇	◇	◇	
62	70		◇	◇	◇	◇	◇
63	80		◇	◇	◇	◇	◆
64	54		◇	◇	◇		
65	69		◇	◇	◇		◇
66	79		◇	◇	◇		◆
67	65		◇	◇	◆	◇	
68	80		◇	◇	◆	◇	◇
69	90		◇	◇	◆	◇	◆
70	64		◇	◇	◆		
71	79		◇	◇	◆		◇
72	89		◇	◇	◆		◆
73	39	◇				◇	
74	54	◇				◇	◇
75	64	◇				◇	◆
76	38	◇					
77	53	◇					◇
78	63	◇					◆
79	57	◇			◇	◇	
80	72	◇			◇	◇	◇
81	82	◇			◇	◇	◆
82	56	◇			◇		
83	71	◇			◇		◇
84	81	◇			◇		◆
85	67	◇			◆	◇	
86	82	◇			◆	◇	◇
87	92	◇			◆	◇	◆
88	66	◇			◆		
89	81	◇			◆		◇
90	91	◇			◆		◆
91	45	◇		◇		◇	
92	60	◇		◇		◇	◇

番号	工事費用	◇レベル1			◆レベル2		★レベル3
		電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明器具	節水便器	節水水栓	高効率ガス給湯器
93	70	◇		◇		◇	◆
94	44	◇		◇			
95	59	◇		◇			◇
96	69	◇		◇			◆
97	63	◇		◇	◇	◇	
98	78	◇		◇	◇	◇	◇
99	88	◇		◇	◇	◇	◆
100	62	◇		◇	◇		
101	77	◇		◇	◇		◇
102	87	◇		◇	◇		◆
103	73	◇		◇	◆	◇	
104	88	◇		◇	◆	◇	◇
105	98	◇		◇	◆	◇	◆
106	72	◇		◇	◆		
107	87	◇		◇	◆		◇
108	97	◇		◇	◆		◆
109	69	◇	◇			◇	
110	84	◇	◇			◇	◇
111	94	◇	◇			◇	◆
112	68	◇	◇				
113	83	◇	◇				◇
114	93	◇	◇				◆
115	87	◇	◇		◇	◇	
116	102	◇	◇		◇	◇	◇
117	112	◇	◇		◇	◇	◆
118	86	◇	◇		◇		
119	101	◇	◇		◇		◇
120	111	◇	◇		◇		◆
121	97	◇	◇		◆	◇	
122	112	◇	◇		◆	◇	◇
123	122	◇	◇		◆	◇	◆
124	96	◇	◇		◆		
125	111	◇	◇		◆		◇
126	121	◇	◇		◆		◆
127	75	◇	◇	◇		◇	
128	90	◇	◇	◇		◇	◇
129	100	◇	◇	◇		◇	◆
130	74	◇	◇	◇			
131	89	◇	◇	◇			◇
132	99	◇	◇	◇			◆
133	93	◇	◇	◇	◇	◇	
134	108	◇	◇	◇	◇	◇	◇
135	118	◇	◇	◇	◇	◇	◆
136	92	◇	◇	◇	◇		
137	107	◇	◇	◇	◇		◇
138	117	◇	◇	◇	◇		◆

番号	工事費用	◇レベル1			◆レベル2		★レベル3
		電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明器具	節水便器	節水水栓	高効率ガス給湯器
139	103	◇	◇	◇	◆	◇	
140	118	◇	◇	◇	◆	◇	◇
141	128	◇	◇	◇	◆	◇	◆
142	102	◇	◇	◇	◆		
143	117	◇	◇	◇	◆		◇
144	127	◇	◇	◇	◆		◆
145	47	◆				◇	
146	62	◆				◇	◇
147	72	◆				◇	◆
148	46	◆					
149	61	◆					◇
150	71	◆					◆
151	65	◆			◇	◇	
152	80	◆			◇	◇	◇
153	90	◆			◇	◇	◆
154	64	◆			◇		
155	79	◆			◇		◇
156	89	◆			◇		◆
157	75	◆			◆	◇	
158	90	◆			◆	◇	◇
159	100	◆			◆	◇	◆
160	74	◆			◆		
161	89	◆			◆		◇
162	99	◆			◆		◆
163	53	◆		◇		◇	
164	68	◆		◇		◇	◇
165	78	◆		◇		◇	◆
166	52	◆		◇			
167	67	◆		◇			◇
168	77	◆		◇			◆
169	71	◆		◇	◇	◇	
170	86	◆		◇	◇	◇	◇
171	96	◆		◇	◇	◇	◆
172	70	◆		◇	◇		
173	85	◆		◇	◇		◇
174	95	◆		◇	◇		◆
175	81	◆		◇	◆	◇	
176	96	◆		◇	◆	◇	◇
177	106	◆		◇	◆	◇	◆
178	80	◆		◇	◆		
179	95	◆		◇	◆		◇
180	105	◆		◇	◆		◆
181	77	◆	◇			◇	
182	92	◆	◇			◇	◇
183	102	◆	◇			◇	◆
184	76	◆	◇				
185	91	◆	◇				◇

番号	工事 費用	◇レベル1			◆レベル2		★レベル3
		電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明器具	節水便器	節水水栓	高効率ガス給湯器
186	101	◆	◇				◆
187	95	◆	◇		◇	◇	
188	110	◆	◇		◇	◇	◇
189	120	◆	◇		◇	◇	◆
190	94	◆	◇		◇		
191	109	◆	◇		◇		◇
192	119	◆	◇		◇		◆
193	105	◆	◇		◆	◇	
194	120	◆	◇		◆	◇	◇
195	130	◆	◇		◆	◇	◆
196	104	◆	◇		◆		
197	119	◆	◇		◆		◇
198	129	◆	◇		◆		◆
199	83	◆	◇	◇		◇	
200	98	◆	◇	◇		◇	◇
201	108	◆	◇	◇		◇	◆
202	82	◆	◇	◇			
203	97	◆	◇	◇			◇
204	107	◆	◇	◇			◆
205	101	◆	◇	◇	◇	◇	
206	116	◆	◇	◇	◇	◇	◇
207	126	◆	◇	◇	◇	◇	◆
208	100	◆	◇	◇	◇		
209	115	◆	◇	◇	◇		◇
210	125	◆	◇	◇	◇		◆
211	111	◆	◇	◇	◆	◇	
212	126	◆	◇	◇	◆	◇	◇
213	136	◆	◇	◇	◆	◇	◆
214	110	◆	◇	◇	◆		
215	125	◆	◇	◇	◆		◇
216	135	◆	◇	◇	◆		◆
217	58	★				◇	
218	73	★				◇	◇
219	83	★				◇	◆
220	57	★					
221	72	★					◇
222	82	★					◆
223	76	★			◇	◇	
224	91	★			◇	◇	◇
225	101	★			◇	◇	◆
226	75	★			◇		
227	90	★			◇		◇
228	100	★			◇		◆
229	86	★			◆	◇	
230	101	★			◆	◇	◇

番号	工事費用	◇レベル1			◆レベル2		★レベル3
		電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明器具	節水便器	節水水栓	高効率ガス給湯器
231	111	★			◆	◇	◆
232	85	★			◆		
233	100	★			◆		◇
234	110	★			◆		◆
235	64	★		◇		◇	
236	79	★		◇		◇	◇
237	89	★		◇		◇	◆
238	63	★		◇			
239	78	★		◇			◇
240	88	★		◇			◆
241	82	★		◇	◇	◇	
242	97	★		◇	◇	◇	◇
243	107	★		◇	◇	◇	◆
244	81	★		◇	◇		
245	96	★		◇	◇		◇
246	106	★		◇	◇		◆
247	92	★		◇	◆	◇	
248	107	★		◇	◆	◇	◇
249	117	★		◇	◆	◇	◆
250	91	★		◇	◆		
251	106	★		◇	◆		◇
252	116	★		◇	◆		◆
253	88	★	◇			◇	
254	103	★	◇			◇	◇
255	113	★	◇			◇	◆
256	87	★	◇				
257	102	★	◇				◇
258	112	★	◇				◆
259	106	★	◇		◇	◇	
260	121	★	◇		◇	◇	◇
261	131	★	◇		◇	◇	◆
262	105	★	◇		◇		
263	120	★	◇		◇		◇
264	130	★	◇		◇		◆
265	116	★	◇		◆	◇	
266	131	★	◇		◆	◇	◇
267	141	★	◇		◆	◇	◆
268	115	★	◇		◆		
269	130	★	◇		◆		◇
270	140	★	◇		◆		◆
271	94	★	◇	◇		◇	
272	109	★	◇	◇		◇	◇
273	119	★	◇	◇		◇	◆
274	93	★	◇	◇			
275	108	★	◇	◇			◇
276	118	★	◇	◇			◆
277	112	★	◇	◇	◇	◇	
278	127	★	◇	◇	◇	◇	◇
279	137	★	◇	◇	◇	◇	◆

番号	工事 費用	◇レベル1			◆レベル2		★レベル3
		電気			水道		ガス
		インナーサッシ	エアコン	省エネ照明器具	節水便器	節水水栓	高効率ガス給湯器
231	111	★			◆	◇	◆
280	111	★	◇	◇	◇		
281	126	★	◇	◇	◇		◇
282	136	★	◇	◇	◇		◆
283	122	★	◇	◇	◆	◇	
284	137	★	◇	◇	◆	◇	◇
285	147	★	◇	◇	◆	◇	◆
286	121	★	◇	◇	◆		
287	136	★	◇	◇	◆		◇
288	146	★	◇	◇	◆		◆

付録 7-2 ケース A における各代替案の期待値・最尤値・希求水準

Case A		想定居住期間 21 年				想定居住期間 18 年				想定居住期間 15 年			
改修なし(基準)		685.4	659.1			555.4	545.0			445.3	432.9		
番号	工事費	期待値	最尤値	希求水準	確率	期待値	最尤値	希求水準	確率	期待値	最尤値	希求水準	確率
3	26	614.3	599.2	7.7	62%	498.9	480.9	7.2	62%	406.3	393.7	6.4	59%
9	44	620.0	604.7	7.4	62%	504.6	487.1	6.8	62%	411.9	399.1	6.0	59%
15	54	632.3	616.5	6.9	61%	515.7	498.1	6.2	62%	422.5	408.7	5.3	59%
21	32	616.3	601.3	7.6	62%	501.0	483.0	7.0	62%	408.3	395.8	6.3	59%
27	50	622.0	606.7	7.3	62%	506.6	489.1	6.7	62%	414.0	401.1	5.8	59%
33	60	634.3	618.5	6.8	61%	517.7	500.1	6.0	62%	424.5	410.8	5.2	59%
39	56	620.1	604.6	7.3	62%	504.7	487.7	6.7	62%	412.1	398.9	5.9	59%
45	74	625.8	610.0	7.0	62%	510.4	493.8	6.3	62%	417.8	404.3	5.4	59%
51	84	638.1	621.8	6.5	61%	521.5	504.8	5.7	62%	428.3	413.9	4.8	59%
57	62	622.1	606.6	7.2	62%	506.8	489.7	6.6	62%	414.1	400.9	5.8	59%
63	80	627.8	612.0	7.1	61%	512.4	495.8	6.2	62%	419.8	406.3	5.3	59%
69	90	640.1	623.9	6.5	61%	523.5	506.8	5.6	62%	430.4	415.9	4.6	59%
75	64	648.0	633.0	6.2	61%	533.0	515.2	5.7	56%	440.7	428.1	4.8	49%
81	82	653.7	638.4	5.9	61%	538.7	521.3	5.6	52%	446.3	433.5	5.1	39%
87	92	666.0	650.3	6.7	45%	549.8	532.3	5.8	43%	456.9	443.1	4.4	39%
93	70	650.0	635.0	6.1	61%	535.1	517.2	5.6	56%	442.7	430.1	4.7	49%
99	88	655.7	640.4	5.8	61%	540.7	523.3	5.4	52%	448.4	435.5	5.0	39%
105	98	668.1	652.3	6.6	45%	551.8	534.3	5.7	43%	459.0	445.1	4.3	39%
111	94	655.7	640.3	6.0	61%	540.8	523.8	5.8	47%	445.1	431.1	5.0	39%
117	112	661.4	645.7	6.0	54%	546.4	529.9	5.8	43%	454.1	440.6	4.4	39%
123	122	673.8	657.5	6.2	45%	557.5	540.9	5.2	43%	464.7	450.2	4.0	34%
129	100	657.8	642.3	5.7	61%	542.8	525.8	6.1	43%	450.4	437.3	4.7	39%
135	118	663.4	647.7	6.2	50%	548.5	531.9	5.7	43%	456.1	442.6	4.3	39%
141	128	675.8	659.6	6.1	45%	559.5	542.9	5.1	43%	466.7	452.3	3.9	34%
147	72	655.0	639.9	5.9	61%	540.1	522.2	5.6	52%	447.8	435.2	5.1	39%
153	90	660.6	645.3	5.8	57%	545.7	528.4	6.0	43%	453.5	440.6	4.6	39%
159	100	673.0	657.2	6.4	45%	556.8	539.4	5.4	43%	464.0	450.2	3.9	39%
165	78	657.0	641.9	6.1	57%	542.1	524.3	5.5	52%	449.8	437.2	5.0	39%
171	96	662.7	647.4	6.5	48%	547.8	530.4	5.9	43%	455.5	442.6	4.5	39%
177	106	675.0	659.2	6.3	45%	558.8	541.4	5.3	43%	466.1	452.2	3.8	39%
183	102	663.2	647.7	6.8	45%	548.3	531.3	5.8	43%	456.0	442.8	4.4	39%
189	120	668.8	653.1	6.5	45%	553.9	537.4	5.4	43%	461.7	448.2	3.9	39%
195	130	681.2	665.0	6.0	43%	565.0	548.4	4.8	43%	472.2	457.8	3.7	31%
201	108	665.2	649.7	6.7	45%	550.3	533.3	5.7	43%	458.0	444.9	4.2	39%
207	126	670.9	655.1	6.4	45%	556.0	539.4	5.3	43%	463.7	450.2	3.7	39%
213	136	683.2	667.0	5.9	43%	567.0	550.4	4.7	43%	474.3	459.9	3.6	31%
219	83	663.4	648.3	6.2	52%	548.7	530.9	5.9	43%	456.6	444.0	4.5	39%
225	101	669.0	653.7	6.6	45%	554.4	537.1	5.5	43%	462.3	449.3	4.0	39%
231	111	681.4	665.6	6.0	45%	565.4	548.1	4.9	43%	472.9	459.0	3.8	31%
237	89	665.4	650.3	6.9	45%	550.7	533.0	5.8	43%	458.6	446.0	4.4	39%
243	107	671.1	655.8	6.5	45%	556.4	539.1	5.4	43%	464.3	451.4	3.9	39%
249	117	683.4	667.6	6.0	43%	567.4	550.1	4.8	43%	474.9	461.0	3.7	31%
255	113	672.8	657.3	6.4	45%	558.1	541.1	5.2	43%	466.0	452.9	3.7	39%
261	131	678.4	662.7	6.0	50%	563.8	544.3	4.8	43%	471.7	458.2	3.7	31%
267	141	690.8	674.6	5.6	43%	574.8	558.3	4.2	43%	482.3	467.9	3.0	31%
273	119	674.8	659.3	6.3	45%	560.1	543.2	5.1	43%	468.0	454.9	3.6	39%
279	137	680.5	664.8	5.9	45%	565.8	549.3	4.7	43%	473.7	460.2	3.5	31%
285	147	692.8	676.6	5.5	43%	576.9	560.3	4.1	43%	484.3	469.9	3.6	21%

付録 7-3 ケース B における各代替案の期待値・最尤値・ROI

Case B		計算期間 21 年				計算期間 18 年				計算期間 15 年			
改修なし(基準)		685.4	659.1			555.4	545			445.3	432.9		
番号	工事費	期待値	最尤値	ROI	確率	期待値	最尤値	ROI	確率	期待値	最尤値	ROI	確率
109	69	680.7	665.3	9.5%	50%	560.4	541.8	8.1%	43%	463.1	451	6.3%	39%
110	84	676.2	660.5	7.5%	54%	556	538	6.3%	43%	458.6	446	4.7%	39%
111	94	655.7	640.3	6.9%	61%	540.8	523.8	5.9%	47%	445.1	431.1	4.5%	39%
112	68	681	672.7	9.1%	54%	567.8	545	7.6%	43%	470.5	458.8	5.6%	39%
113	83	683.3	667.8	7.5%	45%	563.3	545.1	6.3%	43%	466	453.8	4.7%	39%
114	93	662.9	647.6	7.1%	50%	548.1	530.8	6.2%	43%	455.9	443	4.8%	39%
115	87	686.3	670.8	6.8%	45%	566.1	547.9	6.2%	43%	468.7	456.3	4.8%	39%
116	102	681.9	665.9	6.2%	45%	561.6	544.2	5.3%	43%	464.3	451.3	4.0%	39%
117	112	661.4	645.7	5.5%	54%	546.4	529.9	4.5%	43%	454.1	440.6	3.3%	39%
118	86	693.5	678.1	7.6%	45%	573.5	554.9	6.5%	37%	476.2	464.1	5.1%	39%
119	101	689	673.3	5.8%	45%	569	551.2	4.8%	43%	471.7	459.1	3.4%	39%
120	111	668.6	653.1	5.6%	45%	553.8	536.9	4.7%	43%	461.5	448.4	3.5%	39%
121	97	698.7	682.6	6.5%	43%	577.2	558.9	5.4%	43%	479.3	466	4.1%	34%
122	112	694.2	677.8	5.8%	43%	572.7	555.2	5.3%	43%	474.8	461	4.0%	34%
124	96	705.8	690	6.2%	43%	584.5	565.9	5.6%	37%	486.8	473.7	3.6%	21%
125	111	701.3	685.1	6.1%	43%	580	562.2	5.2%	37%	482.3	468.7	3.9%	21%
127	75	682.7	667.4	8.4%	45%	562.5	543.8	7.1%	43%	465.1	453	5.3%	39%
128	90	678.2	662.5	7.6%	50%	558	540.1	6.5%	43%	460.6	448	4.9%	39%
128	89	685.4	669.9	7.3%	45%	565.3	547.1	6.0%	43%	468.1	455.8	4.3%	39%
129	100	657.8	642.3	6.0%	61%	542.8	525.8	5.0%	43%	450.4	437.3	3.6%	39%
130	74	689.8	674.7	8.3%	45%	569.8	550.8	6.9%	43%	472.5	460.8	5.1%	39%
132	99	664.9	649.7	5.8%	45%	550.1	532.8	5.2%	43%	457.9	445.1	3.9%	39%
133	93	685.2	672.8	7.1%	45%	568.1	545	5.9%	43%	470.8	458.3	4.3%	39%
134	108	683.9	667.9	5.6%	45%	563.7	546.2	5.4%	43%	466.3	453.3	4.6%	39%
135	118	663.4	647.7	4.9%	50%	548.5	531.9	4.5%	43%	456.1	442.6	3.4%	39%
136	92	695.5	680.2	6.7%	45%	575.5	557	5.6%	37%	478.2	466.1	4.2%	29%
137	107	691	675.3	5.1%	45%	571	553.2	4.5%	43%	473.7	461.1	3.5%	39%
138	117	670.6	655.1	5.8%	45%	555.8	538.9	4.9%	43%	463.5	450.4	3.6%	39%
139	103	700.7	684.7	6.1%	43%	579.2	560.9	5.2%	37%	481.4	468	3.9%	21%
140	118	696.2	679.8	5.0%	43%	574.7	557.2	4.1%	43%	476.9	463	2.9%	31%
142	102	707.9	692	5.6%	43%	586.5	568	5.1%	37%	488.8	475.8	3.8%	21%
143	117	703.4	687.2	5.1%	43%	582.1	564.2	4.3%	37%	484.3	470.8	3.1%	21%
181	77	684.6	672.8	7.2%	50%	563.2	544.2	6.5%	43%	470.7	458.6	4.7%	39%
182	92	683.6	667.9	7.1%	45%	563.5	545.6	6.0%	43%	466.2	453.6	4.3%	39%
183	102	663.2	647.7	5.6%	45%	548.3	531.3	4.5%	43%	456	442.8	3.4%	39%
184	76	695.2	680.1	7.7%	45%	575.3	556.3	6.3%	37%	478.1	466.3	4.4%	29%
185	91	690.8	675.3	5.9%	45%	570.8	552.6	5.2%	43%	473.6	461.3	4.4%	39%
186	101	670.3	655.1	6.1%	45%	555.6	538.3	5.2%	43%	463.4	450.6	3.8%	39%
187	95	693.8	678.2	6.0%	45%	573.6	555.4	5.2%	43%	476.3	463.9	4.5%	39%
188	110	689.3	673.3	5.2%	45%	569.1	551.7	5.6%	43%	471.8	458.9	4.3%	39%
190	94	700.9	685.6	5.8%	45%	581	562.5	5.0%	37%	483.8	471.7	4.4%	29%
191	109	696.4	680.7	5.3%	45%	576.5	558.7	4.4%	37%	479.3	466.7	3.0%	24%
192	119	676	660.5	5.4%	45%	561.3	544.4	4.4%	43%	469.1	456	3.1%	39%
193	105	706.1	690.1	6.2%	43%	584.7	566.4	5.1%	37%	486.9	473.6	3.7%	21%
196	104	713.2	697.4	5.7%	43%	592	573.5	4.7%	34%	494.4	481.3	3.3%	21%
197	119	708.8	692.6	4.7%	43%	587.5	569.7	4.2%	37%	489.9	476.3	3.7%	21%
199	83	690.1	674.8	7.3%	45%	570	551.3	5.9%	43%	472.7	460.6	3.9%	39%
200	98	685.1	669.9	5.6%	45%	565.1	544.3	5.0%	43%	468.2	455.6	4.3%	39%
201	108	665.2	649.7	5.5%	45%	550.3	533.3	4.5%	43%	458	444.9	3.2%	39%
202	82	692.8	677.3	7.3%	45%	572.8	554.6	7.1%	43%	475.6	463.4	5.4%	39%

Case B		計算期間 21 年				計算期間 18 年				計算期間 15 年			
改修なし(基準)		685.4	659.1			555.4	545			445.3	432.9		
番号	工事費	期待値	最尤値	ROI	確率	期待値	最尤値	ROI	確率	期待値	最尤値	ROI	確率
203	97	672.3	657.1	5.9%	45%	557.6	540.3	5.3%	43%	465.5	452.6	4.0%	39%
204	107	695.8	680.2	5.4%	45%	575.7	557.5	4.4%	37%	478.4	465.9	3.1%	29%
205	101	691.3	675.4	6.2%	45%	571.2	553.7	5.1%	43%	473.9	460.9	3.5%	39%
206	116	702.9	687.6	5.4%	45%	583	564.5	4.9%	37%	485.8	473.7	3.7%	21%
208	100	698.5	682.7	5.3%	43%	578.5	560.8	4.6%	37%	481.3	468.7	4.0%	21%
209	115	708.1	692.1	5.0%	43%	586.7	568.5	4.4%	37%	488.9	475.6	3.3%	21%
211	111	715.3	699.5	5.6%	43%	594.1	575.5	4.6%	34%	496.4	483.4	3.1%	21%
214	110	693.2	677.5	5.0%	45%	573.3	555.4	4.3%	43%	476.2	463.6	3.7%	39%
253	88	697.7	682.4	6.6%	45%	577.8	559.2	5.3%	37%	480.7	468.6	4.1%	29%
254	103	693.2	677.5	5.5%	45%	573.3	555.4	4.9%	43%	476.2	463.6	3.9%	39%
255	113	672.8	657.3	4.9%	45%	558.1	541.1	4.2%	43%	466	452.9	3.6%	39%
256	87	704.8	689.8	6.2%	45%	585.1	566.2	5.3%	37%	488.1	476.4	4.7%	26%
257	102	700.4	684.9	5.9%	45%	580.6	562.5	4.7%	37%	483.6	471.4	3.3%	21%
258	112	679.9	664.7	4.7%	50%	565.4	548.2	3.9%	43%	473.5	460.6	3.3%	39%
259	106	703.4	687.8	5.2%	43%	583.5	565.3	4.5%	37%	486.3	473.9	4.0%	21%
262	105	710.5	695.2	4.8%	43%	590.8	572.3	4.4%	37%	493.8	481.7	3.5%	21%
265	116	715.7	699.7	4.9%	43%	594.5	576.3	4.0%	26%	496.9	483.6	3.1%	21%
268	115	722.8	707.1	4.7%	43%	601.9	583.3	4.0%	26%	504.4	491.4	3.4%	21%
271	94	697.7	682.4	5.8%	45%	577.8	559.2	5.2%	37%	480.7	468.6	4.5%	29%
272	109	695.2	679.6	5.0%	45%	575.3	557.5	4.3%	37%	478.2	465.6	3.8%	29%
273	119	674.8	659.3	4.3%	45%	560.1	543.2	3.6%	43%	468	454.9	2.9%	39%
274	93	706.9	691.8	5.7%	45%	587.1	568.2	4.9%	37%	490.1	478.4	4.2%	21%
275	108	702.4	686.9	4.6%	43%	582.7	564.5	4.1%	37%	485.7	473.4	3.3%	21%
276	118	681.9	666.7	4.4%	45%	567.5	550.2	3.7%	43%	475.5	462.7	3.2%	34%
277	112	705.4	689.8	4.4%	43%	585.5	567.3	4.7%	37%	488.4	476	3.0%	21%
280	111	712.5	697.2	4.2%	43%	592.8	574.4	4.5%	37%	495.8	483.7	2.7%	21%

付録 8 各変動パターンにおける各時点の LCC 最尤値評価(代替案 128)

番号	変動パターン	計算期間 15 年				計算期間 18 年				計算期間 21 年			
		改修時点				改修時点				改修時点			
		なし	1年目	4年目	7年目	なし	1年目	4年目	7年目	なし	1年目	4年目	7年目
3	1-1-1	456.7	428.7	437.6	457.9	531.8	497.6	506.9	535.3	611.5	580.5	580.4	612.3
	1-1-2	439.6	413.4	422.9	445.2	521.1	485.2	497.1	527.9	606.5	574.6	576.8	611.2
	1-1-3	427.3	402.3	412.6	438.2	528.6	485.7	502.9	538.4	633.1	595.8	602.2	641.8
	1-2-1	461.2	433.5	441.2	462.1	543.8	506.4	516.3	546.2	629.5	595.9	596.1	629.7
	1-2-2	444.2	418.2	426.4	449.3	534.0	494.6	507.2	539.5	626.4	591.6	594.2	630.3
	1-2-3	432.9	408.0	417.1	443.2	545.0	497.9	516.1	553.3	659.1	618.3	625.2	666.8
	1-3-1	500.1	468.8	475.0	497.9	604.7	556.1	568.5	602.7	710.1	666.4	668.1	706.7
	1-3-2	481.6	452.3	459.1	483.9	596.0	544.8	560.3	597.0	710.6	665.4	669.6	710.9
	1-3-3	471.7	443.3	451.0	479.3	615.4	554.1	576.3	618.7	758.9	705.8	714.8	762.7
9	1-1-1	456.7	419.4	430.4	452.0	531.8	487.2	498.3	528.4	611.5	568.5	570.2	604.7
	1-1-2	439.6	404.5	416.1	439.7	521.1	475.0	488.7	521.2	606.5	562.5	566.6	603.7
	1-1-3	427.3	393.6	406.1	432.8	528.6	475.4	494.2	531.5	633.1	582.9	591.1	634.0
	1-2-1	461.2	424.0	433.7	455.9	543.8	495.6	507.2	538.8	629.5	583.2	585.2	621.6
	1-2-2	444.2	409.0	419.4	443.4	534.0	484.0	498.3	532.3	626.4	578.9	583.3	622.3
	1-2-3	432.9	399.1	410.2	437.5	545.0	487.1	506.8	545.9	659.1	604.7	613.2	658.3
	1-3-1	500.1	458.2	466.4	490.4	604.7	543.7	557.7	593.8	710.1	651.5	654.9	696.8
	1-3-2	481.6	442.1	450.9	476.8	596.0	532.6	549.6	588.3	710.6	650.4	656.2	701.1
	1-3-3	471.7	433.3	443.0	472.3	615.4	541.5	565.1	609.6	758.9	689.5	700.0	752.2
21	1-1-1	456.7	416.8	426.5	455.2	531.8	484.0	495.4	532.7	611.5	565.9	567.9	609.8
	1-1-2	439.6	401.4	411.7	442.7	521.1	471.3	485.4	525.6	606.5	559.4	564.1	608.9
	1-1-3	427.3	390.1	401.3	436.1	528.6	471.2	490.9	536.4	633.1	579.4	588.8	639.9
	1-2-1	461.2	421.5	430.6	459.4	543.8	492.5	505.2	543.6	629.5	580.7	584.0	627.2
	1-2-2	444.2	406.1	415.8	446.8	534.0	480.4	496.0	537.2	626.4	575.9	581.9	628.1
	1-2-3	432.9	395.8	406.3	441.1	545.0	483.0	504.5	551.3	659.1	601.3	612.1	665.0
	1-3-1	500.1	456.8	465.2	494.9	604.7	541.5	558.0	599.9	710.1	650.2	656.2	704.1
	1-3-2	481.6	440.2	449.1	481.2	596.0	529.8	549.6	594.6	710.6	648.5	657.4	708.6
	1-3-3	471.7	431.1	440.9	476.9	615.4	538.3	565.2	616.6	758.9	687.2	701.7	760.8
27	1-1-1	456.7	421.4	432.2	449.6	531.8	489.2	500.2	526.0	611.5	570.5	572.0	602.4
	1-1-2	439.6	406.5	417.9	437.5	521.1	477.0	490.6	519.1	606.5	564.5	568.5	601.6
	1-1-3	427.3	395.6	407.9	431.0	528.6	477.4	496.1	529.7	633.1	584.9	593.0	632.2
	1-2-1	461.2	426.0	435.6	453.5	543.8	497.6	509.1	536.5	629.5	585.2	587.1	619.3
	1-2-2	444.2	411.0	421.2	441.3	534.0	486.1	500.2	530.2	626.4	580.9	585.2	620.2
	1-2-3	432.9	401.1	412.1	435.6	545.0	489.1	508.8	544.0	659.1	606.7	615.1	656.6
	1-3-1	500.1	460.2	468.3	487.8	604.7	545.7	559.5	591.1	710.1	653.6	656.7	694.3
	1-3-2	481.6	444.1	452.8	474.4	596.0	534.7	551.5	585.9	710.6	652.4	658.1	698.8
	1-3-3	471.7	435.4	444.9	470.2	615.4	543.6	567.0	607.6	758.9	691.6	701.9	750.3

番号	変動パターン	計算期間 15 年				計算期間 18 年				計算期間 21 年			
		改修時点				改修時点				改修時点			
		なし	1年目	4年目	7年目	なし	1年目	4年目	7年目	なし	1年目	4年目	7年目
39	1-1-1	456.7	418.5	433.5	449.0	531.8	486.9	500.7	524.7	611.5	567.6	571.9	600.6
	1-1-2	439.6	404.1	419.5	436.8	521.1	475.2	491.3	517.6	606.5	562.1	568.6	599.6
	1-1-3	427.3	393.6	409.8	430.0	528.6	476.0	496.8	527.8	633.1	583.0	592.9	629.6
	1-2-1	461.2	423.0	436.3	452.6	543.8	495.2	508.9	534.8	629.5	582.2	586.3	617.1
	1-2-2	444.2	408.5	422.3	440.3	534.0	484.2	500.3	528.4	626.4	578.4	584.5	617.9
	1-2-3	432.9	398.9	413.4	434.4	545.0	487.7	508.7	541.8	659.1	604.6	614.2	653.6
	1-3-1	500.1	456.1	467.6	486.5	604.7	542.4	557.6	588.8	710.1	649.4	654.0	691.3
	1-3-2	481.6	440.5	452.5	473.0	596.0	531.9	549.9	583.4	710.6	648.8	655.6	695.7
	1-3-3	471.7	432.1	444.8	468.5	615.4	541.3	565.2	604.5	758.9	688.4	699.0	746.4
109	1-1-1	456.7	471.9	478.6	500.3	531.8	540.3	550.0	580.1	611.5	624.1	625.3	658.6
	1-1-2	439.6	456.1	463.3	486.8	521.1	527.6	540.0	572.2	606.5	618.5	622.0	657.1
	1-1-3	427.3	444.8	452.7	479.5	528.6	528.7	546.5	583.2	633.1	641.3	649.1	688.5
	1-2-1	461.2	477.2	482.0	504.4	543.8	550.0	559.7	591.2	629.5	640.9	641.8	676.4
	1-2-2	444.2	461.3	466.6	490.8	534.0	538.0	550.3	584.1	626.4	636.9	640.1	676.6
	1-2-3	432.9	451.0	457.0	484.4	545.0	541.8	560.0	598.4	659.1	665.3	673.1	714.1
	1-3-1	500.1	514.8	517.6	542.0	604.7	602.6	614.7	650.4	710.1	715.6	717.7	756.4
	1-3-2	481.6	497.6	500.8	527.2	596.0	591.1	606.2	644.3	710.6	714.9	719.5	760.4
	1-3-3	471.7	488.5	492.5	522.3	615.4	601.1	623.4	666.9	758.9	757.5	767.4	813.6
110	1-1-1	456.7	465.8	476.0	491.0	531.8	535.0	545.4	568.8	611.5	617.9	619.5	646.1
	1-1-2	439.6	450.7	461.4	478.0	521.1	523.2	536.0	561.2	606.5	613.1	616.6	644.8
	1-1-3	427.3	440.0	451.4	470.9	528.6	525.0	542.6	571.8	633.1	636.6	643.4	675.4
	1-2-1	461.2	470.9	478.5	494.5	543.8	544.6	554.0	579.1	629.5	634.5	629.2	662.9
	1-2-2	444.2	455.8	463.9	481.4	534.0	533.5	545.3	572.3	626.4	631.4	631.2	663.3
	1-2-3	432.9	446.0	454.8	475.2	545.0	538.0	554.9	586.1	659.1	660.5	641.2	699.9
	1-3-1	500.1	506.7	511.5	530.0	604.7	595.9	605.8	635.5	710.1	707.5	707.1	739.9
	1-3-2	481.6	490.4	495.7	515.7	596.0	585.2	598.0	629.7	710.6	707.7	709.3	743.9
	1-3-3	471.7	481.7	487.8	511.0	615.4	596.0	614.9	651.6	758.9	750.9	756.3	795.9
111	1-1-1	456.7	454.8	469.1	484.8	531.8	523.0	536.0	560.3	611.5	603.5	607.0	635.9
	1-1-2	439.6	440.4	455.2	472.7	521.1	511.3	526.7	553.2	606.5	598.0	603.7	635.0
	1-1-3	427.3	430.0	445.4	465.9	528.6	512.1	532.2	563.4	633.1	618.8	627.9	664.8
	1-2-1	461.2	459.2	470.6	487.2	543.8	531.3	542.9	569.3	629.5	618.0	620.0	651.3
	1-2-2	444.2	444.8	456.6	475.0	534.0	520.3	534.3	562.9	626.4	614.2	618.3	652.0
	1-2-3	432.9	431.1	447.8	469.1	545.0	523.8	542.7	576.2	659.1	640.3	647.8	687.6
	1-3-1	500.1	492.2	500.3	519.6	604.7	578.3	589.9	621.7	710.1	684.9	686.0	723.9
	1-3-2	481.6	476.7	485.2	506.1	596.0	567.8	582.2	616.3	710.6	684.3	687.6	728.2
	1-3-3	471.7	468.3	477.6	501.6	615.4	577.1	597.5	637.3	758.9	723.7	730.8	778.7
112	1-1-1	456.7	480.1	484.1	503.2	531.8	547.8	556.4	583.9	611.5	631.9	632.0	662.9
	1-1-2	439.6	464.0	468.4	489.6	521.1	534.9	546.1	575.9	606.5	625.9	628.5	661.3
	1-1-3	427.3	452.4	457.6	482.1	528.6	535.6	552.6	587.0	633.1	648.5	655.9	693.0
	1-2-1	461.2	485.5	487.7	507.6	543.8	557.6	566.3	595.4	629.5	648.8	648.9	681.1
	1-2-2	444.2	469.3	471.9	493.9	534.0	545.3	556.8	588.2	626.4	644.5	647.0	681.3
	1-2-3	432.9	458.8	462.1	487.4	545.0	545.0	566.5	602.7	659.1	672.7	680.3	719.2
	1-3-1	500.1	523.9	524.1	546.2	604.7	611.0	622.6	655.8	710.1	724.4	726.2	762.5
	1-3-2	481.6	506.4	507.0	531.1	596.0	599.0	613.8	649.5	710.6	723.3	727.9	766.4
	1-3-3	471.7	497.0	498.5	526.3	615.4	608.7	631.2	672.5	758.9	765.7	776.2	820.3

番号	変動パターン	計算期間 15 年				計算期間 18 年				計算期間 21 年			
		改修時点				改修時点				改修時点			
		なし	1年目	4年目	7年目	なし	1年目	4年目	7年目	なし	1年目	4年目	7年目
114	1-1-1	456.7	463.0	474.5	487.8	531.8	530.5	542.3	564.1	611.5	611.2	613.8	640.2
	1-1-2	439.6	448.3	460.3	475.4	521.1	518.5	532.8	556.9	606.5	605.5	610.2	639.2
	1-1-3	427.3	437.6	450.3	468.6	528.6	519.1	538.3	567.2	633.1	626.0	634.7	669.4
	1-2-1	461.2	467.5	476.2	490.5	543.8	538.9	549.5	573.5	629.5	625.9	627.1	656.0
	1-2-2	444.2	452.8	461.9	478.0	534.0	527.6	540.7	566.9	626.4	621.8	625.2	656.7
	1-2-3	432.9	443.0	452.9	472.1	545.0	530.8	549.2	580.4	659.1	647.6	655.1	692.7
	1-3-1	500.1	501.4	506.9	523.7	604.7	586.6	597.8	627.1	710.1	693.7	694.5	730.0
	1-3-2	481.6	485.5	491.4	510.1	596.0	575.8	589.8	621.6	710.6	692.8	695.9	734.2
	1-3-3	471.7	476.8	483.6	505.6	615.4	584.8	605.3	642.9	758.9	731.9	739.6	785.3
128	1-1-1	456.7	467.7	477.8	488.6	531.8	537.0	547.3	566.4	611.5	619.9	621.4	643.8
	1-1-2	439.6	452.7	463.2	475.9	521.1	525.2	537.9	559.1	606.5	615.1	618.5	642.7
	1-1-3	427.3	442.0	453.3	469.0	528.6	527.0	544.5	570.0	633.1	638.6	645.3	673.7
	1-2-1	461.2	472.9	480.3	492.0	543.8	546.6	555.9	576.7	629.5	636.5	636.6	660.6
	1-2-2	444.2	457.8	465.8	479.2	534.0	535.5	547.2	570.1	626.4	633.4	635.4	661.3
	1-2-3	432.9	448.0	456.7	473.3	545.0	540.1	556.9	584.3	659.1	662.5	667.9	698.1
	1-3-1	500.1	508.8	513.4	527.4	604.7	597.9	607.7	632.9	710.1	709.6	708.9	737.3
	1-3-2	481.6	492.4	497.5	513.3	596.0	587.3	599.9	627.3	710.6	709.8	711.2	741.6
	1-3-3	471.7	483.8	489.7	508.9	615.4	598.1	616.8	649.6	758.9	753.0	751.7	793.9
129	1-1-1	456.7	456.8	470.9	482.4	531.8	525.0	537.8	557.9	611.5	605.4	608.9	633.6
	1-1-2	439.6	442.4	457.0	470.5	521.1	513.3	528.5	551.1	606.5	600.0	605.5	632.9
	1-1-3	427.3	432.0	447.3	464.0	528.6	514.1	534.1	561.5	633.1	620.8	629.8	663.1
	1-2-1	461.2	461.2	472.4	484.8	543.8	533.3	544.8	566.9	629.5	620.0	621.9	649.0
	1-2-2	444.2	446.8	458.5	472.8	534.0	522.3	536.2	560.7	626.4	616.2	620.2	650.0
	1-2-3	432.9	437.3	449.6	467.2	545.0	525.8	544.7	574.3	659.1	642.3	649.8	685.8
	1-3-1	500.1	494.3	502.1	516.9	604.7	580.3	591.8	619.1	710.1	687.0	687.9	721.4
	1-3-2	481.6	478.7	487.1	503.7	596.0	569.9	584.1	614.0	710.6	686.4	689.5	725.9
	1-3-3	471.7	470.3	479.5	499.6	615.4	579.2	599.4	635.3	758.9	725.8	732.7	776.7
132	1-1-1	456.7	465.0	476.3	485.4	531.8	532.5	544.2	561.7	611.5	613.2	615.6	637.9
	1-1-2	439.6	450.3	462.1	473.3	521.1	520.5	534.6	554.7	606.5	609.4	612.1	637.1
	1-1-3	427.3	439.6	452.1	466.7	528.6	521.1	540.2	565.4	633.1	631.6	636.6	667.6
	1-2-1	461.2	469.6	478.0	488.1	543.8	540.9	551.4	571.1	629.5	633.5	629.0	653.7
	1-2-2	444.2	454.8	463.8	475.9	534.0	529.6	542.6	564.8	626.4	628.7	627.1	654.6
	1-2-3	432.9	445.1	454.7	470.2	545.0	532.8	551.1	578.6	659.1	649.7	657.0	690.9
	1-3-1	500.1	503.4	508.7	521.1	604.7	588.7	599.7	624.5	710.1	695.8	696.4	727.4
	1-3-2	481.6	487.5	493.3	507.7	596.0	577.8	591.7	619.2	710.6	701.3	697.8	732.0
	1-3-3	471.7	478.9	485.4	503.5	615.4	586.9	607.2	640.9	758.9	736.4	741.5	783.3
138	1-1-1	456.7	469.6	482.1	479.9	531.8	537.7	549.0	555.0	611.5	617.8	619.7	630.5
	1-1-2	439.6	455.4	468.4	468.1	521.1	526.2	539.9	548.2	606.5	612.6	616.5	629.9
	1-1-3	427.3	445.1	458.8	461.6	528.6	527.3	545.4	558.7	633.1	633.5	640.7	659.9
	1-2-1	461.2	474.1	483.0	482.2	543.8	546.1	555.3	563.9	629.5	634.6	632.0	645.8
	1-2-2	444.2	459.8	469.3	470.3	534.0	535.3	546.9	557.8	626.4	631.6	630.4	646.8
	1-2-3	432.9	450.4	460.6	464.7	545.0	538.9	555.4	571.3	659.1	655.1	660.0	682.5
	1-3-1	500.1	506.8	511.8	514.0	604.7	592.9	601.3	615.7	710.1	699.2	696.9	717.6
	1-3-2	481.6	491.5	496.9	500.9	596.0	582.6	593.7	610.6	710.6	701.4	698.6	722.2
	1-3-3	471.7	483.2	489.4	496.7	615.4	592.2	609.0	631.8	758.9	740.2	741.7	772.8

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、多くの方々にご指導、ご助言並びにご協力をいただきました。ここにお世話になった方々に厚く感謝の意を表したいと思います。

恩師である野城先生には、研究を始め学生生活全体にわたって大変お世話になりました。学位論文においてご指導をいただくとともに、研究に対する姿勢やテーマの広がりについても多くのご指摘をいただきました。また、様々な学会発表、海外シンポジウムへの参加をさせていただくことで、世界中の研究者たちと交流することができました。研究者への道を導いてくださったことに深く感謝の意を表したいと思います。

論文の審査過程において、副査を引き受けていただいた川口健一先生、齊藤広子先生、大月敏雄先生、堀田昌英先生の諸先生方には、不動産学・マネジメント学・建築計画学などの様々な視点から示唆に富むご意見とご指導をいただきました。心からお礼を申し上げます。

省エネ改修事例の考察を行うにあたり、インテリックス空間設計業務部 櫻井浩一郎氏、高田郁氏のご協力を賜りました。ここに記して厚く謝意を表します。

研究室の先輩・同輩・後輩の皆様には大変にお世話になりました。

森下有助教をはじめ、馬郡文平先生、小笠原正豊特任助教、東京都市大学信太洋行先生には、研究活動全般にわたって多大なご支援のみならず、人生観や価値観にも多様な刺激をいただきまして、誠にありがとうございました。

同じく留学生である Fatma Mohamed 氏、Ivana AF Jalowitzki 氏、周允耀氏、呉道彪には、生活面や研究上などの様々な形でご協力をいただきました。また本論文にあたって、日本語の添削・校正を手伝っていただいた池田紘史君、山下早紀さん、谷口力也君、横山茂紀君、上坂麻実さん、藤田大樹君、上田純里さん、藤山拓哉君、大変ありがとうございました。

約4年半の間に、台湾人留学生の先輩・同輩のおかげで、とても充実した留学生活を送っていました。留学と生活経験などを教えていただいた陳震宇先生、廖殊岑先生、游瑛樟先生、黄柔嫚先生、色々なことをお互いに支え合ってきた張懷謙君、蘇柏年君などの方々に、感謝を申し上げます。

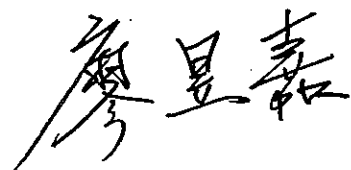
大学時代からお世話になっている恩師 蔡元良先生、王文安先生が、ずっと私のことを励ましてくださったおかげで、自分は初心を忘れずに建築の道を歩んでいくことができました。また、台湾大林組の元上司今井昌彦氏、斉藤裕彦氏には、職場に必要な知識・技能を含め、プロとしての心構えも学習させていただきました。多くの先生たちと上司・先輩たちからご指導を承ることで、積極的かつ健全な価値観を育てることができました。深く感謝いたします。

今考えれば、ここまで来られたのは、励まし合いながら切磋琢磨できる親友がいてくれたからだと思います。黄義凱君、鄭凱方さん、陳彦丞君、蔣宝漳君、黄少妤さん、王儒儀さん、そして、人生の旅と一緒に歩んでくださった皆様、本当にありがとうございました。

最後に、この世にかけがえのない大切な人に感謝したいと思います。それは、僕の両親と兄妹です。日本留学のことを含め、どんな道を選んだとしても、家族が無条件に応援してくれました。彼らから無償の愛をもらったおかげで、自分はどのような困難にあっても、信念を迷わず進むように乗り越えられると思います。

あらためてこれらの方々に、深く感謝の意を表します。

2014年8月

Handwritten signature in black ink, reading '廖昱嘉' (Liao Yujia).