

下方 OFT による建築物群の更新過程の エージェントベースモデリング

AGENT BASE MODELLING OF REBUILDING PROCESS OF BUILDING GROUP BY DOWNWARD OFT

三好 徹志¹・北垣 亮馬²・野口 貴文³

¹M.S.(工学) 東京大学大学院大学院生 工学系研究科建築学専攻 (E-mail:miyoshi.tetsushi@takenaka.co.jp)

²Ph.D.(工学) 東京大学大学院講師 工学系研究科建築学専攻 (E-mail:ryoma@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

³Ph.D.(工学) 東京大学大学院教授 工学系研究科建築学専攻 (E-mail:noguchi@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

間接的互惠関係に関するアルゴリズムである下方 OFT により、ストック志向に転換する建築物群の更新過程をモデル化し、高耐久建築物に適した建築物群を可視化する方法を提案した。

今世紀内に建築物群の平均経年数を 3 倍にするシナリオ等によって、8 建築物群の 500 年に渡る更新過程を試算した結果、ストック志向のエージェントの比率、経年数の平均及び標準偏差が、基準となる建築物群の値から 3~4 割増減する期間がある旨を確認した。

キーワード：下方 OFT, 建築物群, エージェントベースモデリング, 社会的耐用年数, 物理的耐用年数

1. はじめに

建築物に使用する材料の高強度化が、部材のスマート化による建設時の使用材料の削減と、更新周期の長期化による産業廃棄物の削減に寄与することは周知であるが、現段階で同成果が一般に普及したとは言い難い。特に後者については、100 年超の超長期に渡り供用可能なコンクリートの仕様が提案されているのに対し¹⁾、建築物の供用期間は、数十年程度の税務上の法的耐用年数の範囲に留まる。耐用年数を決定する主要因が再開発事業等の土地利用の変化であることに起因しており²⁾、持続可能社会を志向し、高耐久建築物を計画するには、土地利用の動向を予測する必要がある。

土地利用のモデル化に関する研究には、Lowry のピッツバーグモデル³⁾や Anas⁴⁾の住宅市場のダイナミックモデルを研鑽した事例が多く、国内では、例えば、林らが、世帯のライフサイクルの変化に応じた住替需要と、立地余剰及び住宅供給量をモデル化した上、意思決定の最小単位である個人・世帯主の行動をモンテカルロ法で与えるマイクロシミュレーションを行い、基準年から 5 年後の名古屋都市圏の住宅立地を試算し、解析の有意性を示している⁵⁾。また、横井らは、産業生産額変化率と人口動態に基づき、産業、医療、学校、住居の床面積を推計する将来床面積推計システムと、建築時期毎の建築物の耐用年数と用途地域、立地選択のルールに基づく新

築床面積推計システムを構築した上、2050 年までの省エネ技術効率・導入率の推移シナリオを仮定し、横浜市における CO₂削減効果を試算している⁶⁾。

何れも人口動態を基準として、土地利用に関わる主要因を網羅し、予測精度の向上を図っているが、高耐久建築物の供用期間と比較して、検討期間が顕著に短い点は一考を要する。仮に、当該モデルを超長期に展開する場合、サブモデルの誤差の蓄積による解の発散を回避するため、仮想シナリオを策定して、制約を強化する必要を生じ、結果的に、モデルを多様化する意義が損なわれる。また、高耐久建築物の計画は、建設予定地近隣における建築物群全体の耐用年数の長期化を期待しているが、直接的互惠関係のない将来世代のために、高耐久建築物が普及する過程を再現するサブモデルはない。

本研究では、既往の土地利用モデルの超長期への展開に潜在する限界を認識した上で、建築物群の超長期に渡る更新過程を展望できる解析手法の提案を試みる。

具体的には、解析対象を人口動態が安定した建築物群に限定して、ダイナミックシステムの最大の課題を排除した上、不確実性の高い建物用途や立地条件等の詳細情報も排除し、土地利用モデルを建築物の耐用年数に特化した個別課題として合理化する。個々の建築物の耐用年数の決定的要因は、更新に際する高耐久化の意思決定であり、人口動態がない理想条件では、問題はほぼ二者択一まで単純化できる。モデル化の手法は、個々の建築物

に、物理的耐用年数等の意思決定のための情報を与え、建築物群としての相互作用を再現する点で、エージェントベースモデリング⁷⁾に分類されるが、二者択一の対立構造は、当該研究分野の源流である Shelling のセグリゲーションモデル⁸⁾まで回帰される。

なお、間接的互惠関係に関するアルゴリズムとしては、建築物に限らず、二者択一のジレンマ問題において、利他的行動が発生する過程をボトムアップ的に考察するために構築された下方OFT (Out for Tit-For-Tat)⁹⁾を用いる。

1:1の繰返し囚人のジレンマで最適な戦略である Tit-For-Tat 戦略¹⁰⁾は、自分の行為に対する次回の報復を回避するため、相互協力が発生する過程を再現するのに対し、集団における繰返し囚人のジレンマにおいて、裏切りを受けると相手との関係を絶つ選択肢を追加したものがOFT戦略である。更に、下方OFTは、エージェント毎に無作為に定めた利他性の値に基づき、個々が常に利他的行動をとるが、報酬を与える相手が自分の満足水準以上、他者に報酬を与えていない場合、奉仕の対象を変える、学習機能を具備している。また、全員が利他的な集団の全体の利益が、全員が利己的な集団の全体の利益を超過する様に、報酬を与える側より、受ける側の評価を高く設定しているため、利他性に関する情報を共有・学習しながら行動することで、サンクション効果によって、最終的には利他的集団が大勢を占める過程が説明できる⁹⁾。

建築物群の更新過程においても、利他的な志向の重要性が喚起される環境では、技術、制度、市況、行政の支援等の情報共有が適切に行われれば、必然的に、利己的集団に対するサンクションが強まる。また、例えば、不動産の購買活動において、購買者が、消費者生成メディア等を通じ、自分と類似する他の購買者や購買情報に準拠することが知られているので¹¹⁾、この問題に対して、下方OFTを用いることは妥当であると言える。

但し、時間軸をもつエージェントの意思決定に、同アルゴリズムを導入することで、高耐久化が普及する過程が説明可能になるが、普及速度に関する客観性はない。本研究では、アルゴリズムの定数を、基準となる建築物群における任意のシナリオに適合する様に収斂して得た上、同定数を使用して、評価対象の建築物群の更新過程を解析し、帰納的に考察することで、客観性を確保する。

総じて、本研究では、任意の建築物群の高耐久建築物の建設への適性を可視化することを目的に、間接的互惠関係に関するアルゴリズムである下方OFTによって、高耐久化を志向するエージェントの増加を考慮した、建築物群の更新過程を再現する解析手法を構築する。以下に、解析の手順を概説し、算例とともにその有意性を示す。

2. 建築物群のエージェントベースモデリング

2.1. 建築物群の基本条件

建築物群の基本条件として、人口動態が安定していることに加え、建物用途が非住宅系であることを挙げる。

全ての建築物を対象にする場合、住宅系と非住宅系の更新の動機の相違に起因し、昼間人口と夜間人口の比、更には他建築物群との交通をモデル化する必要があるが、本条件により、これらのモデル化が不要になる。この際、木造建築物の大勢は住宅系であるため、構造形式も、鉄骨鉄筋コンクリート造を含む鉄筋コンクリート造と鉄骨造の二種類に限定され、解析モデルがより簡単になる。

2.2. 耐用年数の設定

本研究で扱う耐用年数は、建築物の経験的耐用年数、法的耐用年数、物理的耐用年数、社会的耐用年数の四種類とする。

第一に、経験的耐用年数は、更新時の経年数に関する統計量であり、式(1)に示すワイブル分布¹²⁾が多用される。同年数には、法的耐用年数や物理的耐用年数の影響も含まれているが、本研究では、建築物群の初期状態の設定に限定して用いることで、他の耐用年数と区分する。

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t - \delta}{\eta} \right)^m \right\} \quad (1)$$

ここで、 t : 材齢、 $R(t)$: 残存率関数、 m : 形状係数、 δ : 遅延係数、 η : 特性寿命。

第二に、法的耐用年数は、建築物の減価償却期間を想定した年数とする。法的には、減税、環境負荷低減の観点から、増減の何れの改正も想定されるため、シナリオの一環として、任意に定めるものとする。なお、本解析は、超長期に渡って、建築物群が存続することを前提としているため、群単位の撤退に係る法的措置も対象外とする。

第三に、物理的耐用年数であるが、鉄骨造に関しては、構造の特性上、耐久性を期待する事例が希少であること、保全によって、主観的に耐用年数が定められることに配慮し、物理的耐用年数を定めず、経験的耐用年数で代替する。鉄筋コンクリート造に関しては、竣工年を代表する設計基準強度からなる、室内の打放しコンクリートに対し、日本建築学会の中性化予測式¹³⁾により、任意のかぶり厚さの鉄筋が腐食する深さまで中性化する経年数の分布を求め、同分布を順守する様に、建築物毎に乱数で与える。室外は、鉄筋発錆後のかぶりコンクリートの剥落までの期間が短く、第三者障害に配慮して、仕上げの仕様や保全において予防措置を講じるため、検討の対象外とする。

最後に、社会的耐用年数は、任意のエージェントが、

建築物群内の高耐久建築物の普及率に配慮して、耐用年数に関する全ての情報を俯瞰した上で、主体的に選択した年数とする。エージェントがもつ耐用年数に関する具体的な情報は上述した3種類であるが、個々の耐用年数に基づく意思決定の機会の都度、志向に応じて、更新を検討し、当該時点が社会的耐用年数に該当するか判断する。社会的耐用年数の支配的要因は群内の志向であり、内包される各耐用年数の度数分布とは、異なる分布を呈する。

なお、本研究で扱わない主要な耐用年数の定義に、機能的耐用年数がある。機能の普遍的な評価は困難であるため、経済性によるならば、同性能は更新の重要な要因であるが副次的であり²⁾、単独で更新の動機にならないことから、対象外とする。

2.3. 初期集団の設定

エージェントの初期集団は、建築物に関する情報である竣工年、構造形式、最低供用年数と、上述した法的耐用年数、経験的耐用年数、物理的耐用年数、運用面に関する情報である大規模修繕周期、ストック・フローの志向に関する情報によって構成する。

ここで、エージェントは、建築主又は建物所有者であるが、超長期の検討では動的に扱う必要があるため、一般地上の建設行為に関する情報を擬人化した存在として扱う。なお、エージェントが得る報酬は、俯瞰的には行政が決定するため、行政を含めると、マルチエージェントにヒエラルキーが潜在している。

エージェントの数は、解析開始時点の建築物群の竣工年毎の件数の比率を再現した上、解の多様性を維持する観点から、1000件以上設定する。最低供用年数は、各耐用年数を統計分布に基づきモンテカルロ法で与える際、実際にありえない短期で更新する可能性があるため、予防的に定める年数である。また、ストック・フローの志向は、高耐久建築物の建設を志向するエージェントをストック志向、従来の経験的耐用年数や法的耐用年数での更新を志向するか、更新に拘りのないエージェントをフロー志向と定義し、エージェントを二分する。

2.4. 修正下方 OFT の概要

下方 OFT を建築物群の更新過程に用いるには、解釈の追加やプロセスの見直しを要するため、修正下方 OFT として、アルゴリズムを修正する。

修正下方 OFT の流れを Fig.1 に示す。まず、各エージェントは、任意の経年数に達すると意思表示のテーブルに上がり、同エージェント間のみで有効なネットワーク数をべき乗則で与えられ、同数分のエージェントに無作為に報酬を配分する。ネットワーク数は、下方 OFT の利他性の値に該当し、本研究では、Dorogovtsev らに準じて

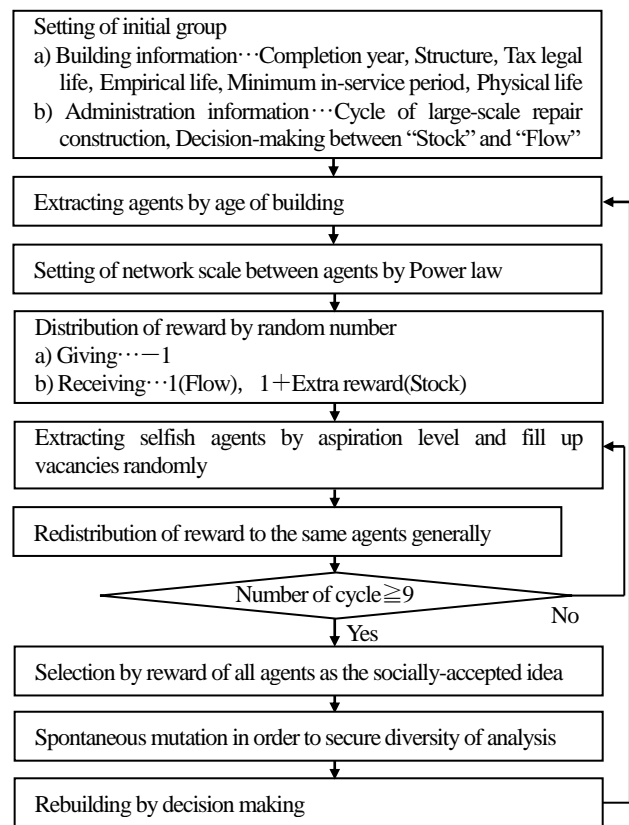


Fig.1 Flow of Modified Downward-OFT

¹⁴⁾、式(2)で表現する。

$$d(k) = k^{-\gamma} \tag{2}$$

ここで、 $d(k)$: 利他性の値 k の確率、 γ : べき乗指数。概念的には、報酬の配分は常時行われているが、任意の経年数で更新に向けた情報交換を行う際に、報酬の授受の履歴が共有される状態を再現している。

この際、報酬を与えた側は資本が減るので1点減点され、受けた側は1点加点されるが、ストック志向のエージェントに限り、行政の支援により、受けた報酬が一定割合増える。2回目の配分では、各エージェントは前回と同じエージェントに報酬を配分しようとするが、自他が報酬を配分したエージェント数の比である満足水準が1を下回る、即ち、相手の配分数が自分より少ない場合、配分先を無作為に変更する。テーブル上の全エージェントでこれを9回繰返した後、同年の全10回の得点を決定し、テーブル外も含む全エージェントの得点の平均値と標準偏差に基づく閾値を下回るエージェントに対し、大規模修繕周期やストック・フローの志向等の運用面の情報を、得点が上位のエージェントの情報と書き換える淘汰を行う。また、解の多様性を保つため、突然変異として、意思表示するエージェントの一定割合に関し、運用面の情報を無作為に書き換える。

なお、フロー志向のエージェントは、意思表示の都度、同時点のフロー志向の比率に準じ、一般的な仕様で建替

え、ストック志向のエージェントは、物理的耐用年数到達時に、長期供用に適した計画供用期間 100 年の物理的耐用年数をもつ鉄筋コンクリート造建築物に建替える。建替に際しては、ストック・フローの志向以外の全ての情報を更新する。この際、ストック志向の建築物の経験的耐用年数は物理的耐用年数と同じとする。

上記が 1 年間に相当するルーチンであり、任意の年数回繰返すことで、ストック志向のエージェントが増加する、高耐久建築物が普及する人工社会の社会的耐用年数が可視化される。

なお、意思表示のテーブルに上がる経年数は、志向毎に基準を定めて設定する。即ち、フロー志向は、法的耐用年数及び同年以降の大規模修繕周期の前後 2 年、ストック志向は、物理的耐用年数の前後 2 年とする。但し、毎年、全エージェントの配点体系に基づき淘汰を行うため、全エージェントの志向は、社会通念として、常時反映される。

3. 基準となる建築物群

3.1. 建築物群の基本情報

基準となる建築物群は、汎用性を確保するため、日本全土の統計に準じて定める。具体的には、国土交通省の建設投資の統計^{15),16)}を参考に、着工床面積の推移を定めた上、同年内に竣工するものとする。更に、経験的耐用年数に準じて更新されるものとして、各年の任意の経年数の面積比を求め、2015 年時点のエージェント数の比として解析に供する。また、構造形式は、前述した建設投資の統計から非住宅系の鉄骨造、鉄筋コンクリート造(鉄骨鉄筋コンクリート造を含む)の比率を得て、同比率を順守する様に無作為に与える。

3.2. 耐用年数の定数

経験的耐用年数のワイブル分布は、那覇市を除く全国の都道府県庁所在地 46 市に川崎市と北九州市を加えた 48 市の固定資産台帳から、小松らが作成した耐用年数の分布のうち、事務所の値を引用する。構造形式毎のワイブル係数、尺度パラメーター、位置パラメーターは、鉄骨造で順に、3.127, 40.444, -7.329, 鉄筋コンクリート造で順に、2.887, 40.591, 0.027 である¹²⁾。

法的耐用年数は、事務所の減価償却期間を引用し、鉄骨造で 38 年、鉄筋コンクリート造で 50 年とする。

鉄筋コンクリート造建築物の物理的耐用年数の算定には、コンクリートの水セメント比、雰囲気温度湿度、二酸化炭素濃度、鉄筋のかぶり厚さ、及び、各統計量が必要になる。まず、コンクリートの水セメント比は、東京都周辺のレディーミクストコンクリートの設計基準強度

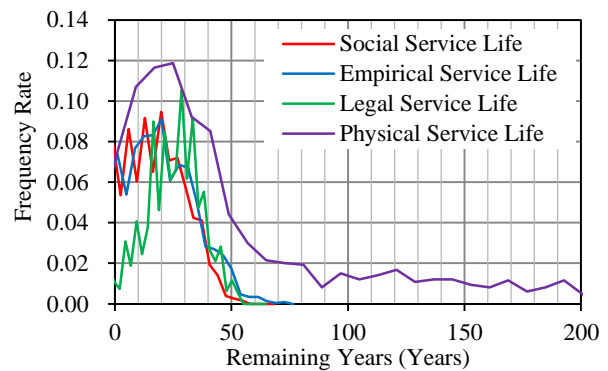


Fig.2 Frequency Rate of Remaining Service Life

の推移¹⁷⁾を線形回帰し、日本建築学会の関連仕様書¹⁸⁾に記載された東京圏の呼び強度と水セメント比の関係を Abrams 式に近似した上、設計基準強度と呼び強度を同じと仮定して得る。雰囲気情報は、東京都の平年値に準じ、気温は 15.4°C、湿度は 65%、二酸化炭素濃度は、中性化予測式の室内用に汎用されてきた 0.2%¹³⁾とする。鉄筋のかぶり厚さは一律に 40mm とし、中性化深さの変動係数を 0.1、かぶり厚さの標準偏差を 10mm とする。

また、供用年数の下限は、鉄骨造は瑕疵担保期限である 10 年、鉄筋コンクリート造は耐久性が期待されるため、民法における求償の上限である 20 年とし、大規模修繕周期は、12 年又は 15 年を無作為に与える。

ストックとフローの志向の別は、ストック志向のエージェントの比率が 5%になる様に、同様に無作為に与える。

初期集団に関し、各耐用年数から経年数を減じた年数のヒストグラムを、Fig.2 に示す。図中の社会的耐用年数は、解析開始時の値であるため、意思決定の影響が含まれていない。社会的耐用年数の残存年数の分布は、経験的耐用年数と類似するが、他の耐用年数の影響によって多峰性を呈する。俯瞰的には、更新までの年数が 30 年以内の建築物がほぼ均等に分布しており、人口動態とストック・フローの志向に変状がない限り、当面は更新工事の量が安定することを示唆している。同年数に関し、図示しない負の領域に相当数の建築物が分布するのは、各耐用年数の設定を、一義的にモンテカルロ法によったため、耐用年数経過後も継続使用される少数の建築物の、固有の事情を考慮しなかった結果である。

3.3. 下方 OFT の定数

建築物群の下方 OFT における特性は、ネットワーク数の上下限とべき乗指数、ネットワーク数の上限をもつエージェントの数、報酬の増加割合によって調整する。但し、未広がり度数分布を呈する、べき乗指数が 2 を上回る範囲では、当年の評価対象のエージェント数で定まるネットワーク数が十分小さく、ネットワーク数の上下限と、上限をもつエージェント数の設定が形骸化するこ

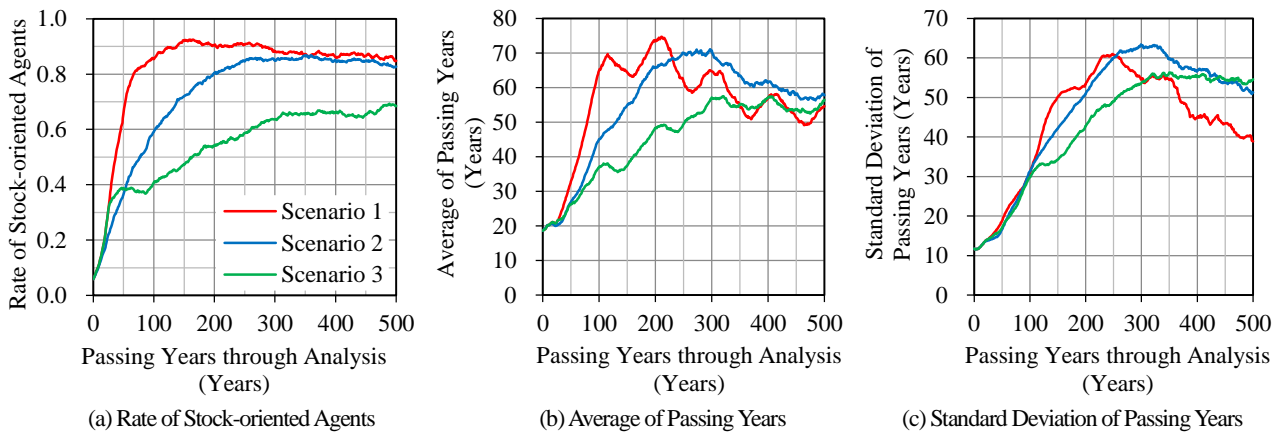


Fig.3 Service Life Index of Reference Model

とに配慮すると、問題はべき乗指数と報酬の割増になる。一般には二変数の近似によって解が得られるが、本文は仮想シナリオの説明に供するため、望まれる度数分布の下限近傍を実現し、既往の研究¹⁹⁾において中程度の値として用いられる2.5をべき乗指数とした上で、報酬の割増のみを修正し、シナリオを具体化する。

本研究では、今世紀内に建築物群の平均経年数が、従来の3倍に達する状態を想定して、解析開始から85年時に、群の平均経年数が解析開始時の3倍近傍に達するシナリオ1、同年数が今世紀内に従来の2倍近傍に留まるシナリオ2、原則として、シナリオ1に準じるが、行政側の経済的理由により、ストック志向のエージェントが全体の3割に達した時点で、報酬の割増を中断するシナリオ3を、仮に設定する。具体的な割増は、収斂の結果、シナリオ1,3で2倍、シナリオ2で1.5倍となる。

基準となる建築物群に関し、ストック志向の比率、経年数の平均及び標準偏差の推移を求めて、Fig.3に示す。

同図において、ストック志向の比率に関し、シナリオ1は、解析開始から40年で半数に達し、70年以降は0.8-0.9で推移している。シナリオ2は解析開始から50年は全シナリオの最小値を取るが、その後は他のシナリオの中間を推移し、解析終了時点でシナリオ1とほぼ同値に達する。シナリオ3は、割増を中断する同率0.3までシナリオ1と同じ履歴をとるが、同値到達後、一度停滞し、改めて増加して、解析終了時点で約0.7に達する。ストック志向の比率が0.3以上になるのは、初期に高得点を取得したストック志向のエージェントが、人工社会の淘汰の閾値を上げ、フロー志向を淘汰するためである。

利他的行動だけでなく、淘汰によっても、ストック志向が漸増するのは、下方OFT特有の現象である。また、シナリオ3に関し、解析開始から50年頃に小さいピークが見られるのは、ストック志向の普及が遅滞する中で、建築物群の竣工年の構成の影響が顕在化したものである。下方OFTを用いたことで、シナリオと建築物群の構成の影響が、解析結果に複合的に反映されている。

次に、平均経年数であるが、全てのシナリオが、解析

開始から20年程、既存の建築物群の竣工年の構成に応じて、高経年化と更新による極めて小さなピークを示す。その後、シナリオ1は、ストック志向の急増に伴い、85年経過時には当初の3倍に達し、110年で二度目のピークに達する。また、同年以降は、100年周期の10年前後の幅のゆらぎを繰り返すフェーズに移行し、210年で全体のピークに達した後、徐々に減少する。平均経年数が漸減するのは、Fig.2で示した様に、解析開始時点で建設済みの建築物に、100年を上回る物理的耐用年数をもつものが相当数含まれており、建設後にフロー志向からストック志向に転じて、超長期に渡り運用され、群の平均経年数を底上げしていたものが、更新された結果である。シナリオ2は、30年頃からシナリオ1より平均経年数の増加速度が落ちるが、230年でシナリオ1を超え、300年で全体のピークに達し、減少に転じる。シナリオ1と比べてゆらぎが小さいのは、解析開始直後に、志向の不安定による、更新時の経年数の分散を生じたことによる。シナリオ3は、最も増加速度が遅いが、解析終了時点で他と同等に達している。シナリオ2よりゆらぎが目立つのは、初期に、ストック志向の有意性が明瞭になったためである。

更に、経年数の標準偏差に関しては、最も平均経年数の増加速度が遅いシナリオ3は、320年頃まで漸増した後、安定するが、他はシナリオ1で250年、シナリオ2で300年にピークに達した後、減少に転じる。平均経年数が減少に転じる中で、建築物群の経年数の均質化が進むためである。なお、標準偏差は平均と同等に達しており、一体感のない建築物群において、現実の建築主がストック志向の傾向を認識できない懸念もあるが、高耐久仕様の建築物が建設された事実が共有される限り、問題ないと考えられる。

最後に、解析開始時と全シナリオの500年時の経年数のヒストグラムをFig.4に示す。ビンの幅はFreedman-Diaconisの選択によったが、いずれも正規分布を呈しておらず、特に解析開始後500年時の分布は、経年数100年にクリフエッジがあり、その後、500年近くまで若干

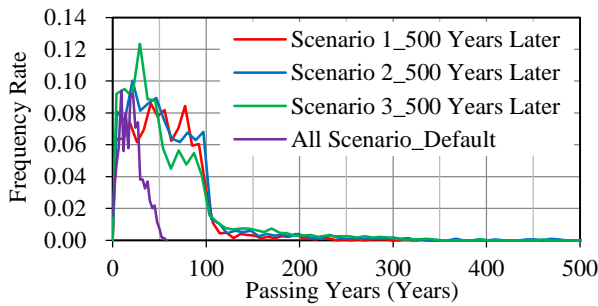


Fig.4 Frequency Rate of Passing Years

Table 1 Character of Selected Building Group

No.	Wave of RC	Wave of S	Predominance of Structure
1	Type D	The Others	Number of RC > Number of S
2	Type I	The Others	Number of RC > Number of S
3	Type C	The Others	Number of RC > Number of S
4	Type R	The Others	Number of RC > Number of S
5	Type R	Type D	Number of RC > Number of S
6	Type D	Type I	Number of RC > Number of S
7	Type D	Type D	Number of RC < Number of S
8	Type D	The Others	Number of RC < Number of S

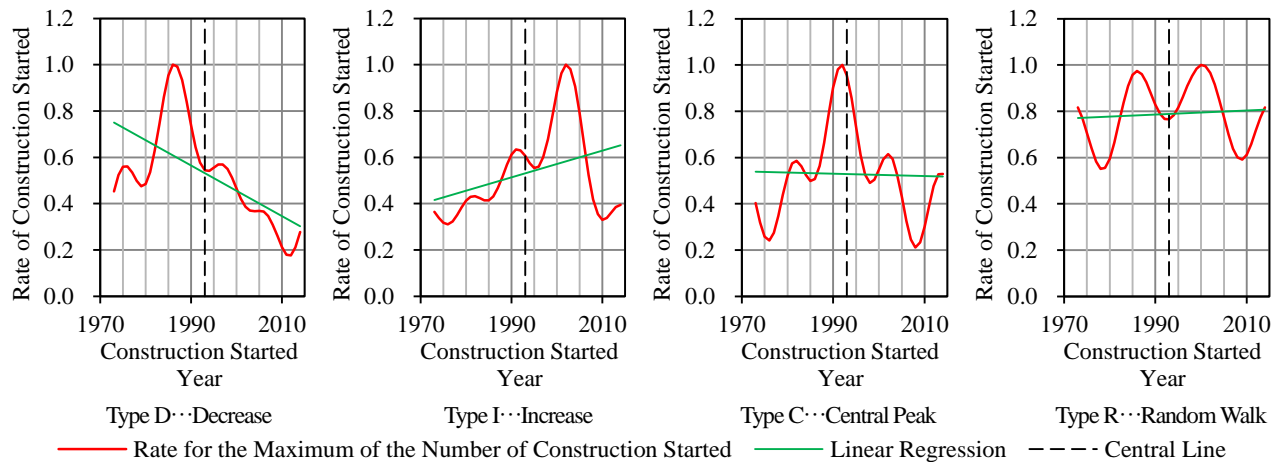


Fig.5 Pattern of Construction Started

数の分布が続いている。ストック志向のエージェントは、計画的に 100 年前後で更新するため、同年近傍に分布の特異点を形成することや、フロー志向からストック志向に転じた建築物が、超長期に及ぶ物理的耐用年数まで供用されること等が、反映されている。

以降は、差異が明瞭なシナリオ 1 と 3 の定数を用いて、本解析手法の解説を進める。

4. 評価対象の建築物群

4.1. 建築物群の選定の根拠

人口動態により群が撤退する懸念がない建築物群は各地に点在するが、当該条件に合致する可能性が高い東京都内の市区郡島から、工事量の推移に関し、特徴的な建築物群を複数選択する。具体的には、東京都統計年鑑²⁰⁾に記載された 1972~2014 年の 43 年間の着工面積を構造形式別に離散フーリエ変換し、低周波数の 1~4 次の波形を合成し、最大のピークが観察される時間と、線形回帰時の勾配により、Fig.5 に示す 4 種類とその他に分類する。図中の Type D は、ピークが前半にあり、回帰係数が負、Type I はピークが後半で回帰係数が正、Type C はピークが中央にあり、回帰係数が 0 近傍、Type R は複数のピークがあり、回帰係数が 0 近傍であることを条件とする。この上で、構造形式間の工事量の相関に配慮して、各

Type の典型的な 8 建築物群を選択し、離散フーリエ変換前の波形を解析に供する。Table 1 に、採用する建築物群の構造形式毎の波形の分類と、構造形式間の工事量の相関を示す。なお、離散フーリエ変換によって得られる波形は、同期間内の土地利用計画と技術的な関係はなく、あくまでも建築物群の構成を類型化する手法にすぎない。

4.2. 解析結果と考察

評価対象の 8 建築物群に関し、ストック志向の比率、経年数の平均及び標準偏差の推移を求めて、経年数毎の上下限を、基準となる建築物群の各指標と併せて、Fig.6.7 に示す。なお、経験的耐用年数、法的耐用年数、物理的耐用年数の計算根拠と、下方 OFT の定数は、何れも基準となる建築物群に準じる。

シナリオ 1 に関する Fig.6 について言及すると、ストック志向のエージェントの比率の建築物群間の差は、解析開始から 40 年頃に最大の 0.14 に達し、500 年間の平均は 0.04 である。基準となる建築物群の履歴は、全建築物群の上下限にはほぼ収まる。また、建築物群間の平均経年数の差は、160 年頃に最大の 15 年に達して平均は 6 年、経年数の標準偏差の差は、420 年頃に最大の 14 年に達し、平均 7 年である。平均、標準偏差ともに、基準となる建築物群が、全ての建築物群の最小値近傍を推移するのは、解析開始時の鉄骨造建築物の比率が多いためである。

次に、シナリオ 3 に関する Fig.7 では、ストック志向の

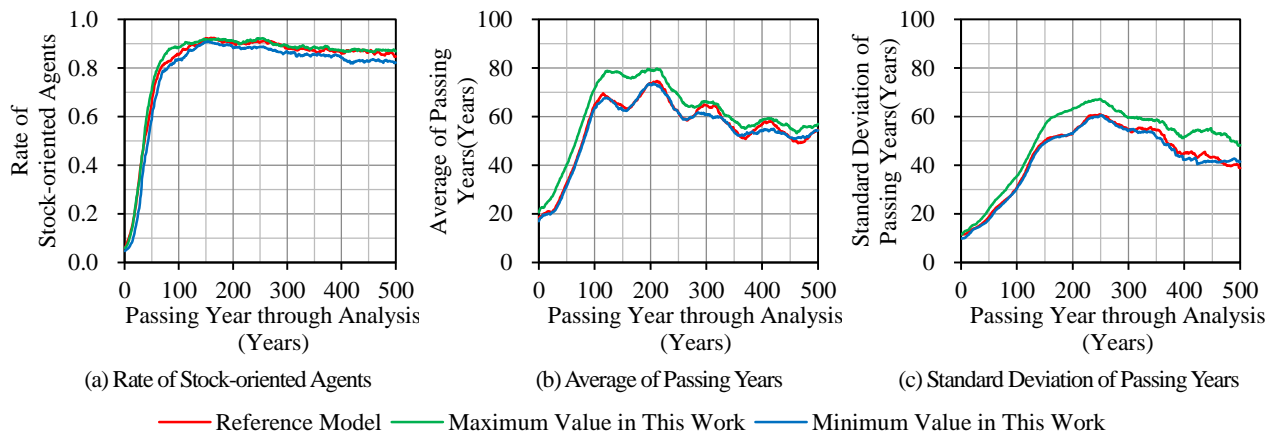


Fig.6 Bounds of Service Life Index (Scenario 1)

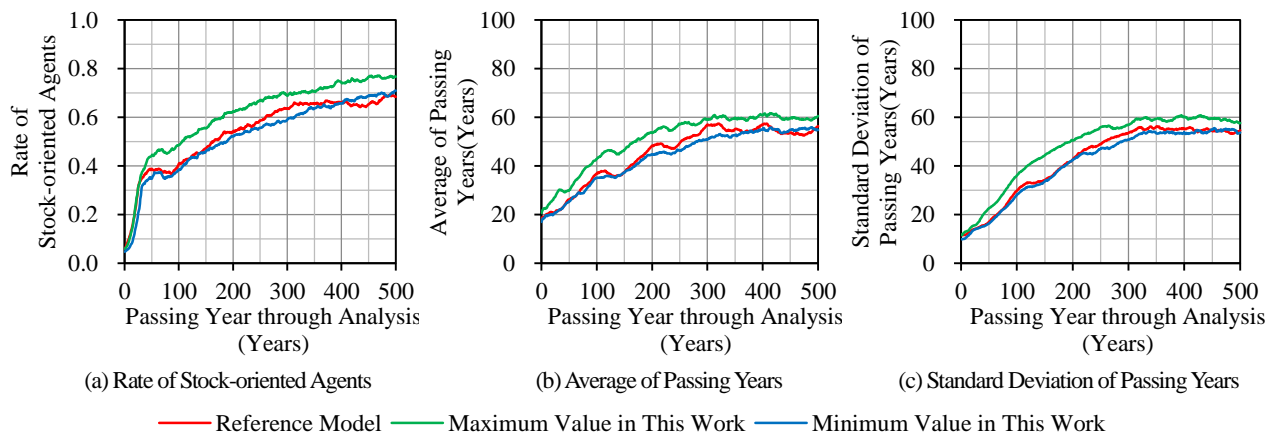


Fig.7 Bounds of Service Life Index (Scenario 3)

エージェントの比率の建築物群間の差は、190年頃に最大0.12で平均0.09、建築物群間の平均経年数差は、250年頃に最大11年で平均7年、同標準偏差は、155年頃に最大11年で平均7年に達する。全ての指標において、基準となる建築物群は最小値近傍を推移するが、初期集団はシナリオ間で差がないため、シナリオ1と同様の理由によるものと考えられる。

両シナリオの全ての指標に関し、建築物群の履歴の概形は、基準となる建築物群と相似している。また、ストック志向の比率については、シナリオ1の建築物群間の差が0.04であるのに対し、シナリオ3は0.09と2倍に達するが、他の指標はシナリオによる差が認められない。

しかし、500年を俯瞰すると、長期に渡る変数が大きく、建築物群間の差が不明瞭になるものの、いずれの指標も、解析開始時の各指標に近いオーダーで推移している。意思決定は離散的に行われるため、事例毎に、評価時点の基準となる建築物群の指標に対する比を求め、Fig.8,9に示す。

シナリオ1に関するFig.8では、ストック志向の比率に関して、解析開始直後は、基準から4割低下する建築物群が認められるが、50年以降は基準に対して1割程度の増減に留まる。また、平均経年数は、基準となる建築物群より全般に大きいが、解析開始から100年内の最大値

は3割増、200年内は2割増で、徐々に最大値が減少するものが大勢である。但し、No.7は、解析開始後5年から400年迄、基準値の5%内の増減に留まっており、基準となる建築物群とほぼ同じ履歴を呈している。経年数の標準偏差については、全般に2割内の増減で推移するが、No.4,5の様に工事量がランダムウォークを呈する構造を含む場合を除いて、400年経過後にピークに達し、最大3割、基準となる建築物群を上回る。

シナリオ3に関するFig.9では、ストック志向の比率に関して、解析開始直後は、基準から4割低下する建築物群があり、100年経過時も基準より2割大きい建築物群が認められる。その後は基本的に1割内で増減するが、No.5では一時的に二割近く迄増加している。平均経年数は、No.7,8は基準となる建築物群に対して1割の増減で、ほぼ同じ履歴と言える。その他は全般に基準より大きいが、解析開始から100年内の最大値は4割増、200年内は3割増で、それ以降は徐々に最大値が減少する。経年数の標準偏差については、No.7,8は平均と同様で、その他は全般に基準より大きい値を示し、200年内でピークに達し、最大3割を超える。

両シナリオを比較すると、平均経年数におけるシナリオの影響は不明瞭であるが、他の二指標は履歴の概形も合致しない建築物群があり、建築物群によって、シナリ

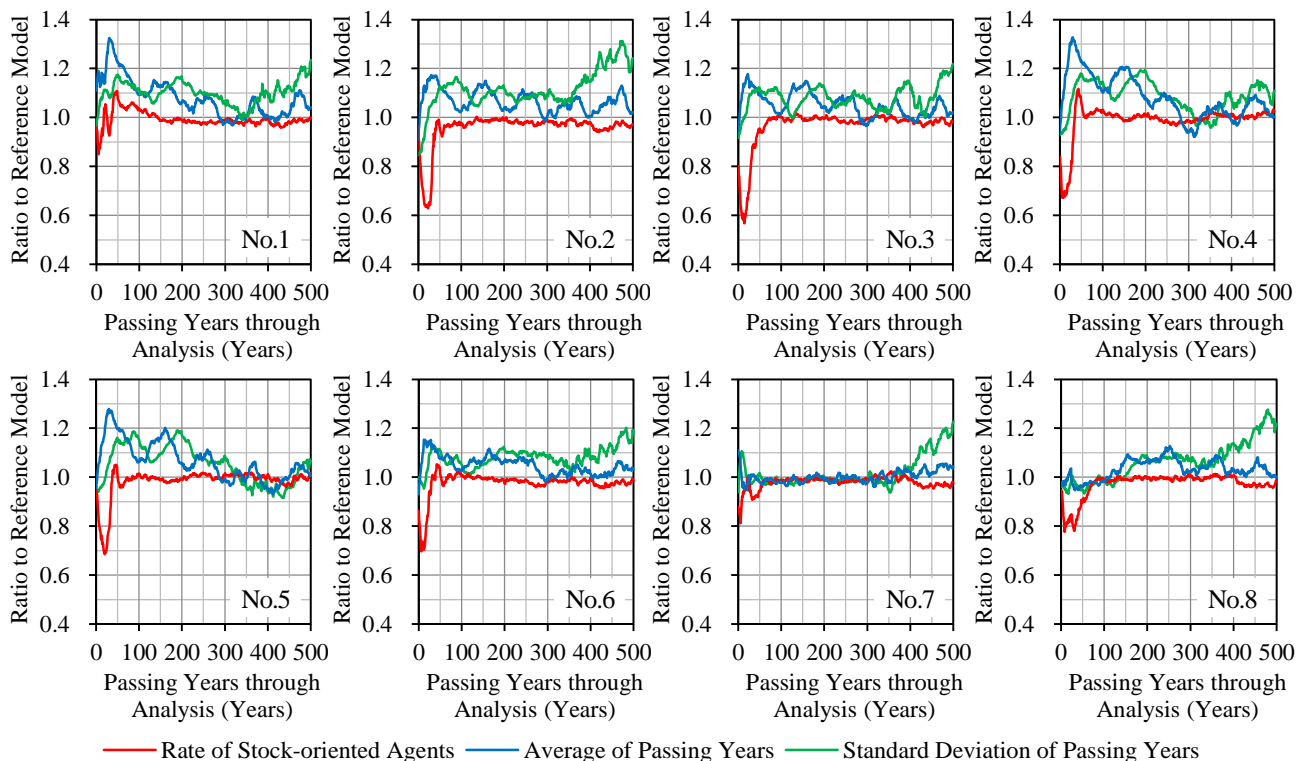


Fig.8 Ratio of Service Life Index to Reference Model (Scenario 1)

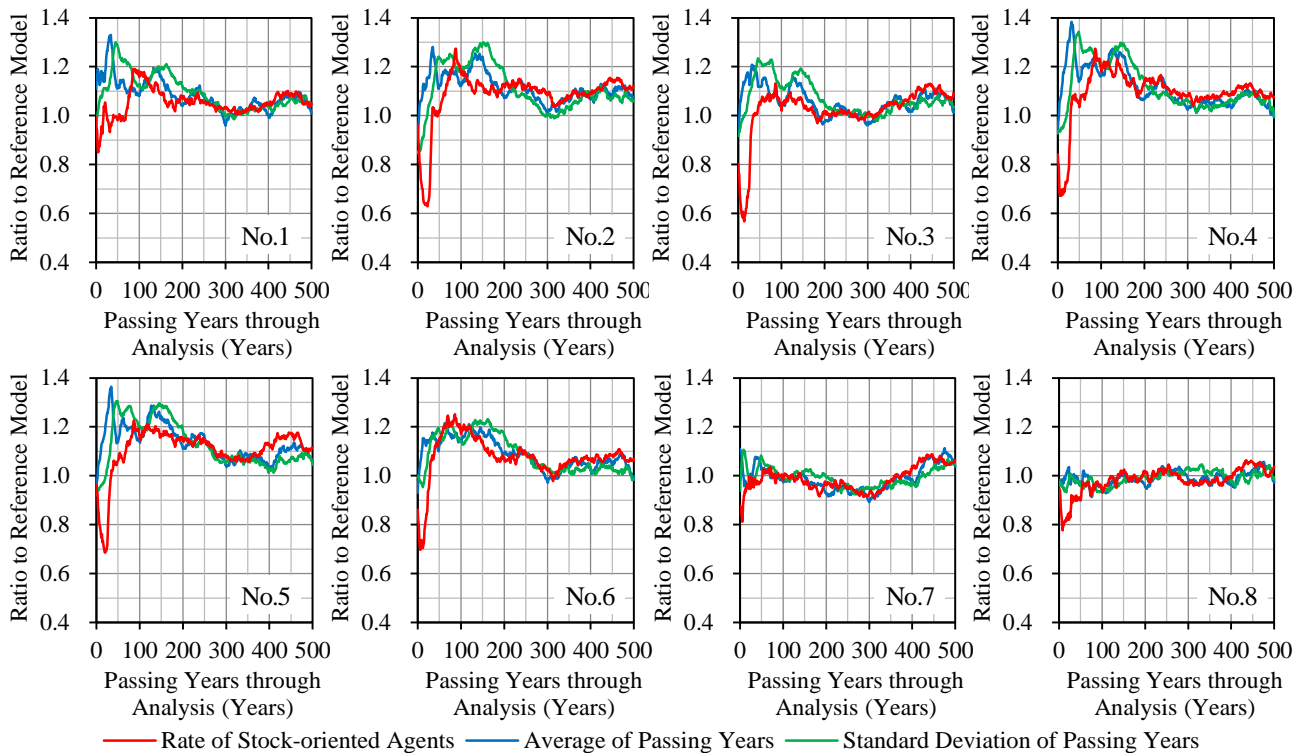


Fig.9 Ratio of Service Life Index to Reference Model (Scenario 3)

オの影響は異なることが分かる。

5. おわりに

解析対象を人口動態が安定した建築物群に限定し、間接的互惠関係に関するアルゴリズムである下方 OFT を

用いて、ストック志向に転換する建築物群の更新過程をモデリングし、基準となる建築物群との比較によって、建築物群の高耐久建築物に対する適性を可視化する方法を提案した。

今世紀内に建築物群の平均経年数を 3 倍にするシナリオと、同シナリオにストック志向を奨励する上限を設けたシナリオによって、東京都内の実在する市区郡島に基

づく 8 パターンの建築物群の 500 年間に渡る更新過程を試算した結果、ストック志向のエージェントの比率、経年数の平均及び標準偏差に関し、建築物群によっては、日本全土を模擬した建築物群で得られる値から、3~4 割増減する期間がある旨を確認した。

本解析では、建築物群の超長期に渡る更新過程を定量的に示すことが出来たが、建物用途の拡大や交通・人口モデルの導入、行政による支援の建築物群毎の適性のモデル化等、解析対象を一般化するための検討要因は多い。ストック志向のエージェントの増加速度を一律で与える等のより簡潔なルールとの優劣は、評価対象に応じて、慎重に判断する必要がある。但し、本文の試算でも示した様に、シナリオと建築物群の構成の影響を複合的に説明できる以上、本解析の有意性は否定されるものではなく、高耐久建築物の計画に限らず、建築物群単位の種々の考察に、本手法が活用できるものとする。

また、フロー志向からストック志向に転換する建築物群が、物理的耐用年数に即して、数百年に渡って継続利用されるルールは、経年数の平均や標準偏差の傾向に大きな影響を及ぼした。鉄筋コンクリート構造が開発されてから 200 年に満たないため、本解析で用いた物理的耐用年数の解析精度は検証されたものではなく、今後の課題である。

参考文献

- 1) 社団法人日本建築学会(2015)『建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事』丸善株式会社
- 2) 飯田恭一, 吉田倬郎(2010)「建物の取壊し理由とその存続期間等に関する研究」『日本建築学会計画系論文集』75(652), 1573-1579.
- 3) Lowry, I.S.. (1964). *A Model of Metropolis*. (1st ed.). Santa Monica, CA: Rand Corporation.
- 4) Anas, A. (1978) Dynamics of Urban Residential Growth, *Journal of Urban Economics* 5(1), 66-87.
- 5) 林良嗣, 富田安夫(1988)「マイクロシミュレーションとランダム効用モデルを応用した世帯のライフサイクル—人口属性構成予測モデル—」『土木学会論文集 IV』(395), 85-94.
- 6) 横井隆志, 山本祐吾, 東海明宏, 盛岡通(2010)「低炭素都市の形成に向けた街区更新およびエネルギー計画の統合を支援するシステム開発」『土木学会論文集 G』66(1), 17-34.
- 7) Epstein, J.M., Axtell, R. (1999) 『人工社会 複雑系とマルチエージェント・シミュレーション』(服部正太, 木村香代子訳) 共立出版株式会社 (原著 1996 年).
- 8) Scelling, T.C. (1969) Models of Segregation, *American Economic Review, papers and Proceedings* 59(2), 488-493.
- 9) 高橋伸幸, 山岸俊男(1996)「利他的行動の社会関係的基盤」『実験社会心理学研究』36(1), 1-11.
- 10) Axelrod, R. (1980) Effective Choice in the Prisoner's Dilemma, *The Journal of Conflict Resolution* 24 (1), 3-25.
- 11) リクルート住まい研究所(2007)『CGM 時代のマンション購入手続に関する研究』http://www.jresearch.net/house/jresearch/cgm/pdf/cgm07_all.pdf[2017.3.5].
- 12) 小松幸夫, 加藤裕久, 吉田倬郎, 野城智也(1992)「わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告」『日本建築学会計画系論文報告集』(439), 101-110.
- 13) 社団法人日本建築学会(2004)『鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針 (案)・同解説』丸善株式会社
- 14) Dorogovtsev, S.N., Mendes, J.F.F.. (2003). *Evolution of Networks from Biological Nets to the Internet and WWW*. (1st ed.). Oxford, OX: Oxford University Press.
- 15) 総務省統計局(2015)『第六十四回日本統計年鑑』<http://www.stat.go.jp/data/nenkan/back64/index.htm> [2017.3.5].
- 16) 総務省統計局(2016)『日本の長期統計系列』<http://www.stat.go.jp/data/chouki/>[2017.3.5].
- 17) 玉井孝幸, 嵩英雄(2003)「レディーミクストコンクリートの圧縮強度の季節変動に関する調査・研究」『日本建築学会技術報告集』9(18), 17-20.
- 18) 社団法人日本建築学会(1997)『建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事』丸善株式会社
- 19) 塚本鋭, 白山晋(2009)「協調の進化における協力者の空間分布の変化」『第 23 回人工知能学会論文集』, 1-4.
- 20) 東京都総務局統計部(2014)『東京都統計年鑑』<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tnenkan/tn-index.htm>[2017.3.5].

AGENT BASE MODELLING OF REBUILDING PROCESS OF BUILDING GROUP BY DOWNWARD OFT

Tetsushi MIYOSHI¹, Ryoma KITAGAKI², and Takafumi NOGUCHI³

¹M.S. (Engineering) Graduate Student, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo (E-mail:miyoshi.tetsushi@takenaka.co.jp)

²Ph.D. (Engineering) Assistant Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo (E-mail:ryoma@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

³Ph.D. (Engineering) Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo (E-mail:noguchi@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

In this paper, a visualization method of fitness to construction of long-life buildings is suggested by modelling a social life with algorithm about indirect reciprocity in a building group converting to the sustainable society. Agent's information consists of completion year, structure, legal life, empirical life, physical life and decision-making between Stock and Flow etc.. Calculating rebuilding processes in 8 building groups over 500 years by the scenario which an average passing year of building group triples in this century and the scenario which incentive to conversion to stock-orient agents is limited, it is clarified that rates of stock-oriented agents, averages and standard deviations of passing years increase or decrease by 30~40% comparing to the reference model discretely.

Key Words: *Downward OFT, Building Group, Agent Base Modelling, Social Life, Physical Life*