QOL指標と維持費用に基づく撤退・集結市街地の遺伝的アルゴリズムを用いた選定方法

長尾 征洋¹・青野 隆仁²・戸川 卓哉³・加藤 博和⁴・佐野 充⁵

¹非会員 名古屋大学助教 大学院環境学研究科（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町）
E-mail: nagao@urban.env.nagoya-u.ac.jp

²非会員 株式会社電通（〒105-7001 東京都港区東新橋1-8-1）
E-mail: blue26912@yahoo.co.jp

³正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究センター（〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2）
E-mail: togawa.takuya@nies.go.jp

⁴正会員 名古屋大学准教授 大学院環境学研究科（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町）
E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

⁵正会員 名古屋大学教授 大学院環境学研究科（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町）
E-mail: sano@info.human.nagoya-u.ac.jp

都市のコンパクト化を進める上で、都市的利用を中止する地区および集結する地区の選定を、QOL（Quality Of Life）指標および市街地維持費を評価値として選定し、遺伝的アルゴリズムを用いて最適化を行った。新潟県旧上越市に適用した結果、QOL最大化の場合、郊外から郊外へ移転し、特に大型病院のある地区や緑地の豊富な地区への集結が最適であることが示された。一方、市街地維持費最小化の場合、地価が低く築年数が経過している住宅の多い地区から撤退し、鉄道駅周辺や商業施設の充実した幹線道路沿線へ集結することが最適であることが示された。さらに、QOLと市街地維持費を共に考慮する両立モデルでは、市街地維持費削減効果の大きい地区から先に撤退し、その後QOLの向上につながる移転を行うことが最適であることが分かった。

Key Words : compact city, genetic algorithm, quality adjusted life year, quality of life, retreat and reconcentration

1. はじめに

(1) 研究の背景

日本の都市では、高度経済成長期以降の人口増加やモータリゼーションの進行に伴い、市街地が拡大してきた。市街地の既設社会資本の多くは、21世紀前半に更新時期を迎え、自治体の財政を圧迫することが懸念される^{1),2)}。また、少子化による人口減少に伴って自治体の財政収入が漸減し、さらに高齢化に伴う社会保障費の増加も加わると、社会資本整備・維持の財源確保が困難になり、都市機能の維持が難しくなる³⁾。一方で住民の求める生活レベルは高度化かつ多様化しており、自治体は住民の要求を満たし、生活環境質（Quality Of Life : QOL）を確保しなければならない。

都市機能を維持し続けるには、自治体の財政制約の中で、住民が享受する生活の質を高めることが必要である。

それを実現する方向性の一つとして、コンパクトシティが検討されており、市街地の密度を高めることで、インフラ整備など公共投資の効率性を高め、QOL確保につながる政策を実行できると期待されている⁴⁾。

(2) 遺伝的アルゴリズムを用いた土地利用分析についての既往研究と課題

土地利用の最適化に遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm : GA）を用いている研究例は建築系の計画分野で多くみられる。瀧澤ら⁵⁾は、土地用途（住居地域、商業地域等）の組み合わせを、実際の地形との適合度と相互結合度という評価軸で最適化する研究を行っている。青木・村岡⁶⁾は、ある町の将来人口分布予測を用いて集会施設の最適配置を求め、その有効性も検討している。また、加知ら⁷⁾は新潟県旧上越市を対象に、都市空間構造の再編に関して、インフラ維持費と人口の将来予測結

果を用いて、住民のQOL享受とコスト負担の関係を考慮すると、住民の都心部への移転が望ましいと述べている。コンパクトシティ形成においては、どの地区から撤退し、どの地区に集結するか決定が重要であり、著者らは市街地維持費や人口などの将来推計から都市を評価し、夜間人口当たりの市街地維持費が高い地区や人口密度の低い地区から順次撤退させて再構築した都市を評価する手法を提案してきた⁸⁾。このようなシナリオ設定に基づいて評価を行う場合、撤退・集結施策による財政への効果や、市街地維持費、住民のQOLなどの各種指標が取り得る最適な値を示しているとは限らない。シナリオ設定を行わず、あくまでも各評価指標の最適化により作成された再編案は一定の客観性を有すると考えられる。また、実際の都市を対象に、市街地居住者のQOLとともに、維持費用を考慮した再編案を提示できることが重要である。

(3) 本研究の目的

本研究では、都市域を小単位に分割し、都市域の集約に向けて、どの地区の利用を中止（撤退）し、どの地区の利用を促進（集結）していくべきかを最適化計算の手法の1つであるGAを用いて決定する。その単位として、4次メッシュ（約500m×500m）を用いる。評価指標の変化が都市空間構造の時間的変化にどのような影響を与えるかをモデル化し、本手法の適用可能性を検討する。

撤退・集結地区の選定においては、市街地維持費とQOLの増減に着目し、財政支出の抑制効果が得られる範囲内で行うものとする。組み合わせの総数だけ解の候補があり、小地区単位で分析を行うため、組み合わせ総数は膨大となり、総当たり評価では有限時間内で解を導出できる保証はない。しかしGAを用いれば、計算時間が大幅に削減でき、かつ精度の高い最適解が得られる。本研究では以下の3つのモデルについて、最適な撤退・集結シナリオを導出する。

- 1) 住民のQOL最大化モデル
- 2) 自治体の財政支出を抑える市街地維持費最小化モデル
- 3) QOLの最大化と市街地維持費の最小化を両立するモデル

3)のモデルでは、QOLを市街地維持費で除した値を最大化する。本研究では実際の都市を対象に最適化計算を行い、都市域の撤退・集結による市街地維持費の削減効果やQOLの変化、最適な都市空間構造に関して考察するとともに、モデルの有効性を検証する。

2. 分析方法

(1) 遺伝的アルゴリズムによる最適化計算

GAは、文字列で表現される個体の集団に対し、遺伝

図-1 GAによる最適化計算フロー図

的操作を繰り返し適用することで近似的な最適解を得ようとするアルゴリズムであり、組み合わせ問題における近似解の導出によく用いられる。組み合わせ問題の他の解法として、数え上げ法、丘登り法、焼きなまし法などがあるが、いずれも計算時間が膨大にかかることや、局所解に陥る可能性が高いといった欠点がある。GAはこの欠点を克服する有用な手法である。

今回適用対象とする新潟県の旧上越市（2005年1月1日に周辺13町村を編入する以前を指す）における撤退・集結地区の候補メッシュ数は244であり、1メッシュにつき3パターンがあるとする（詳細は2.3節で説明する）。その組み合わせによって3²⁴⁴通りの解候補が考えられる。これらすべてを逐次評価するには膨大な計算時間が必要になる。したがって、演算時間が短く最適解が得られるGAは今回の最適化計算に適しているといえる。

都市は地図上では緯度・経度の2次元で表記されるが、GAに用いるためにメッシュ単位で表記された2次元配列を1次元配列に変換する（コーディングと呼ぶ）。これを1個体とする。GAの手法に基づいて複数個体を評価し、最も評価値の高い個体を解候補とする。再び2次元配列に変換し、都市空間構造を再現する（デコーディングと呼ぶ）。本研究では対象期間を45年間とし、5年毎に撤退・集結地区を選定し、都市空間構造の変化や各種指標を分析・評価する（図-1）。

(2) 遺伝的アルゴリズムで用いる各種データの算出

a) 生活環境質（QOL）の定義

本研究では、加知ら⁷⁾の定義に従い、市街地内各地区における居住者のQOLは、

- i) 社会資本や公共・民間施設の充実度、眺望や景観の良好度、災害発生可能性といった、居住地区から得られる環境の物理量
- ii) そこに居住する個人の主観的な価値観

により決定されると考える。これはMyers⁹⁾によるQOL定量化指標の定義に従ったものである。i)については、交通利便性（Accessibility: AC）、居住快適性（Amenity: AM）、災害安全性（Safety & Security: SS）の3つの要素か

表-1 LPsの評価要素

分類	本研究での評価要素
交通利便性 (AC : Accessibility)	就業施設利便性 : AC ₁
	教育・文化施設利便性 : AC ₂
	健康・医療施設利便性 : AC ₃
	買物・サービス施設利便性 : AC ₄
居住快適性 (AM : Amenity)	一人当たりの延床面積 : AM ₁
	建物高さのばらつき : AM ₂
	一人当たりの緑地面積 : AM ₃
	騒音レベル : AM ₄
災害安全性 (SS : Safety & Security)	地震危険性 : SS ₁
	洪水危険性 : SS ₂
	犯罪危険性 : SS ₃
	交通事故危険性 : SS ₄

らなる「生活環境質向上機会 (Life Prospects : LPs)」を定義する。LPsの評価要素を表-1に示す。このLPsにb)の居住者の価値観を表す重みを乗じたものをQOL値と定義し、式(1)のように定式化する。

$$QOL_{pi} = \sum_{j=1}^4 w_{ACp} AC_{ij} + \sum_{j=1}^4 w_{AMp} AM_{ij} + \sum_{j=1}^4 w_{SSp} SS_{ij} \quad (1)$$

ここで、 QOL_{pi} : 性別・年代別グループ p の地区 i でのQOL, w_{ACp} , w_{AMp} , w_{SSp} : 性別・年代別グループ p のLPsの各評価要素に対する価値観 (重み), j : LPsの評価要素の番号。

b) 余命指標によるQOL評価

一般にQOL指標の尺度としては主観量が用いられることが多いが、絶対値の解釈や他の物理的・社会経済的指標との関連付けは困難である。この点は貨幣価値による評価よりも劣るといえるが、QOLの構成要素の多くは非市場財であり、必ずしも貨幣尺度の利用が適当とは言えない。加知ら⁷⁾は余命指標の1つである「生活の質により調整された生存年数 (Quality Adjusted Life Year : QALY)」¹⁰⁾を式(2)のように定式化し、これをQOL尺度として用いている。本研究でもこれを用いる。

$$QALY_p = \int_a^{a+T} W_p^{QOL}(t) C t \exp(-\beta t) \times \exp\{-r(t-a)\} dt \quad (2)$$

ここで、 $QALY_p$: 個人 p のQALY, a : 調査開始年, T : 期待余命, $W_p^{QOL}(t)$: 個人 p が t 年の居住から得られるQOLのレベルによる重み, $C t \exp(-\beta t)$: 1年間の生存から感じるQOLの年齢にに応じた補正係数, $\exp\{-r(t-a)\}$: 時間割引率, C, β, r : パラメータ。

式(2)において年齢間の重みと時間割引率をそれぞれ1, また $dt=1$ と仮定して離散型で書くことにより、式(3)が導かれる。

$$\begin{aligned} QALY_p &= \sum_{t=1}^T W_p^{QOL}(t) \\ &= \underbrace{1 + \dots + 1}_T + \{W_p^{QOL}(1) - 1\} + \dots + \{W_p^{QOL}(T) - 1\} \quad (3) \\ &= \underbrace{T}_{\text{Life Expectancy}} + \underbrace{\sum_{t=1}^T \{W_p^{QOL}(t) - 1\}}_{\text{Gain of Life Expectancy}} \\ &= LE_p + GLE_p \end{aligned}$$

ここで、 LE_p : 個人 p の期待余命, GLE_p : 個人 p の獲得余命。

本研究では式(3)の獲得余命 (Gain of Life Expectancy: GLE) を用いて QOL を評価する。GLE には余命の獲得だけでなく、QOL の低下による余命の損失も含まれる。

加知ら¹¹⁾が述べているように、本研究で得られた QALY 指標と人口分布や地価の間に相関関係は認められなかった。このことをこのまま解釈するか、QALY 指標の算出過程に問題があるかについては更なる検討が必要であると考えられるが、今回は人口分布や地価では表せない評価値を表現できていると考え用いる。

c) 余命指標値の算出

コンジョイント分析によって推定される重み w を余命に換算する方法として、LPsの中で事象発生確率や死亡・負傷者数から計算される想定損失余命に関連する情報が得やすい「地震危険性」に着目する。式(4)で求められる、地震による損失余命 (Loss of Life Expectancy : LLE) を用い、 w を各要素1単位における損失余命に変換することにより、式(5)に示すように個人のGLEを算出する。

$$LLE_1 = \sum_{e=1}^E \{ND_e \times P_e(T,1)\} \quad (4)$$

ここで、 LLE_1 : 地震による損失余命, ND_e : 地震 e による死亡者数, $P_e(T,1)$: 地震 e が発生せずに T 年経過した時点で、その後の1年間に地震 e が発生する確率。

$$\begin{aligned} GLE_{pl} &= -\frac{w_p^{AC}}{w_p^{SS}} \sum_{k=1}^4 w_p^{AC_k} AC_{kl} - \frac{w_p^{AM}}{w_p^{SS}} \sum_{k=1}^4 w_p^{AM_k} AM_{kl} \\ &\quad - LLE_1 + \left\{ \sum_{k=2}^4 \left(-\frac{w_p^{SS_k}}{w_p^{SS_1}} SS_{kl} \right) \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

ここで、 GLE_{pl} : 個人 p の地区 l における獲得余命, w : 重み, k : QOL構成要素, LLE_1 : 地震による損失余命。

GLE_{pl} を地区 l のQOLとし、式(6)に示すように、これにメッシュ毎のメッシュ内人口 (POP) をかけた総和を対象都市全体のQOLとする。

$$QOL = \sum_l \sum_p GLE_{pl} \times POP_l \quad (6)$$

d) 市街地維持費の算出

市街地維持費については加知ら⁷⁾や鈴木ら¹²⁾の先行研

		SS1		SS2		SS3		SS4	
		推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
女性	20-39	-4.13	-5.72	-7.42E-01	-5.37	-1.26E-01	-6.18	-8.80E-02	-2.83
	40-59	-5.43	-7.12	-5.33E-01	-5.49	-8.27E-02	-5.62	-3.85E-02	-1.77
	60-79	-11.00	-5.78	-8.72E-01	-7.20	-6.95E-02	-4.32	-4.80E-02	-1.9
男性	20-39	-3.44	-5.55	-5.94E-01	-4.82	-1.02E-01	-5.53	-7.34E-02	-2.69
	40-59	-6.34	-6.95	-5.27E-01	-4.87	-8.98E-02	-5.37	-4.42E-02	-1.83
	60-79	-8.68	-4.87	-5.35E-01	-5.08	-6.76E-02	-3.97	-5.41E-02	-1.98

c) 遺伝的アルゴリズムにおける個体の表現

図-3に旧上越市を4次メッシュに細分化した地図を示す。国土交通省 国土計画局が提供する土地利用細メッシュをこれに反映させる。面積の8割以上が農地あるいは林地として利用されているメッシュの住民は農林業に従事していると判断し、撤退・集結地区の候補から除外する。寺院が集中している高田駅西側の地区も撤退・集結地区の候補から除外する。このように、旧上越市の土地利用の状況を加味し、最適化の対象とする244メッシュを抽出した。

GAにおける最適化計算では、1個体の遺伝子配列の長さを244とし、1メッシュに1遺伝子を対応させ、その遺伝子配列は、撤退・集結の様子を表すこととする。遺伝子には0, 1, 2のいずれかが入り、0が入る地区は“現状維持”，1が入る地区は“撤退”，2が入る地区は“集結”と定義する。各個体の遺伝子配列に従い個体の評価値を算出し、その値が高くなるよう遺伝子配列を組み替える。解の収束性に関しては、 2×10^5 世代まで計算した後、続く 1×10^5 世代の間、解が変化しないことを確認した。

d) 集結地区における受け入れ可能人口

集結地区の受け入れ可能人口は、式(8)に基づいて算出される地区ごとの人口容量から既存の人口を減じた値と定義する。また、既存のインフラ設備範囲内で各地区の法定容積率までは住民が転入可能であるとする。人口容量上限まで移転を受け入れることにより、既存のインフラストックを最大限活用することを意味しており、集結に伴って新たなインフラ整備を必要としないモデルといえる。

$$CAP_i = (FAR_{li} - FAR_{ri}) \times \frac{POP_i}{FAR_{ri}} \quad (8)$$

ここで、 CAP_i ：メッシュ*i*の人口容量、 FAR_{li} ：メッシュ*i*の法定容積率、 FAR_{ri} ：メッシュ*i*の実質容積率、 POP_i ：メッシュ*i*の人口。法定容積率(FAR_{li})は上越都市計画総括図より抽出、実質容積率(FAR_{ri})に関してはメッシュ*i*の住宅総延床面積、可住地面積、宅地化率から推定。

図-3 メッシュと遺伝子配列の対応

e) 撤退・集結に要する施策費

撤退・集結に必要となる施策費を式(9)、(10)のように定義する。

$$COST_T_i = cost_{bi} + cost_{li} + cost_{hi} \quad (9)$$

$$COST_S_i = \begin{cases} 0 & \text{人口容量以内の集結の場合} \\ cost_{ni} & \text{人口容量以上の集結の場合} \end{cases} \quad (10)$$

ここで、 $COST_T_i$ ：メッシュ*i*の撤退にかかる費用、 $cost_{bi}$ ：メッシュ*i*の建物取り壊し費、 $cost_{li}$ ：メッシュ*i*の住宅地買収費、 $cost_{hi}$ ：メッシュ*i*の建物補償費、 $COST_S_i$ ：メッシュ*i*に集結するのにかかる費用、 $cost_{ni}$ ：新たにメッシュ*i*に整備するインフラ整備費。ただし、本研究の場合は人口容量以内での集結を行うようモデル化しているため式(10)の $cost_{ni}$ については考慮しない。

また、建物補償費 $cost_{hi}$ は、新築の住宅には満額、耐用年数（本研究では40年）以上の住宅には補償なしと設定する（図-4）。なお、平成15年度住宅・土地統計調査の上越市内建物の築年数データ（図-5）とメッシュ内の高齢者割合を対応させた。高齢者の割合が高い上位8.2%

図-4 住宅築年数と建物補償費

図-5 旧上越市内の住宅築年数の分布（平成15年度住宅・土地統計調査）

メッシュ（全部で20メッシュ）に存在する建物は全て築年数43年以上として設定した。

f) 最適化計算における制約条件

式(11) は市内総人口に関する制約で、撤退地区の住民が必ずどこかに集結することを示している。

$$POP_{rt} \leq POP_{rc} \quad (11)$$

ここで、 POP_{rt} ：遺伝子によって撤退地区に決定したメッシュの人口の総和、 POP_{rc} ：遺伝子によって集結地区に決定したメッシュの受け入れ可能人口の総和。

撤退・集結実施費用の原資は、施策により削減した市街地維持費である。つまり、施策実施費用よりも削減できた市街地維持費が小さい場合は、自治体は施策費分を回収することができず、撤退・集結は行われるべきではないといえる。そこで、5年ごとに上記の判定を行い、削減可能な市街地維持費を施策実施費用が上回る場合は解候補から除外する。また、前年までに撤退・集結施策によって削減できた市街地維持費用の時間価値を考慮することとし、時間割引率を導入した（式(12)）。

$$\begin{aligned} & (COST_{no}^t - COST^t) \\ & + (COST_{no}^{t-1} - COST^{t-1}) \times (1-r) \\ & + (COST_{no}^{t-2} - COST^{t-2}) \times (1-r)^2 \\ & + \dots \\ & + (COST_{no}^{t-n} - COST^{t-n}) \times (1-r)^n \end{aligned} \geq COST_m^t \quad (12)$$

ここで、 $COST_{no}^t$ ：施策を行わなかった場合の t 期における市街地維持費、 $COST^t$ ：施策を行う場合の t 期における市街地維持費、 r ：時間割引率、 $COST_m^t$ ： t 期における施策費（撤退費＋集結費）。

3. 結果と考察

(1) 最適化による各種指標の変化

a) 移転人数の推移

図-6に各モデルの移転人数の経年推移を示す。2005年から2049年までの間にQOL最大化モデルでは681人、市

図-6 各モデルにおける移転人数の経年比較

街地維持費最小化モデルでは4350人、両立モデルでは2217人が移転している。QOL最大化モデルに比べ、市街地維持費最小化モデルの方が多くの住民が移転している。また、全モデルにおいて2030年以降多くの住民が移転している。その理由は以下の通りである。住宅築年数が耐用年数を超えている場合は建物補償費を自治体が負担せずに済むため、最も撤退費を抑制できる。図-5に示すように、2030年には居住メッシュ中の4割強のメッシュの住宅築年数が耐用年数を超える。そのため、この時期に移転を行うことが効果的であるといえる。

b) 市街地維持費の推移

図-7に各モデルの市街地維持費の経年推移を示す。各モデルをBAU（Business As Usual：撤退・集結策を講じず、人口予測に基づいたモデル結果）と比較すると、2005年から2049年の間にQOL最大化モデルでは約11億円、市街地維持費最小化モデルでは約91億円、両立モデルで約48億円の削減が可能である。市街地維持費最小化モデルと両立モデルでは、2030年を境に、BAUからの削減額が大きくなっている。これはa)で示した住宅築年数との関係から、建物補償費が低く抑えられるタイミングで撤退・集結政策を実施することが効果的であることによるものである。

図-7 各モデルにおける市街地維持費の経年比較

図-8 各モデルにおけるQOLの経年比較

c) QOL指標の推移

図-8に各モデルのQOLの経年推移を示す。BAUに比べてQOLが向上するのはQOL最大化モデルのみであった。2005年から2049年の間に得られる夜間人口1人当たりの獲得余命の平均値はBAUで1.16年、QOL最大化モデルでは1.17年、市街地維持費最小化モデルでは1.12年、両立モデルでは1.15年となっている。

QOL最大化モデルでは2035年を境にBAUに比べQOLが向上しているが、図-6に示すように移転人数のピークは2030年であり、5年のずれがある。これはQOL最大化モデルではQOLの向上につながらない移転は行われず、式(12)に示す削減可能な市街地維持費は時間価値を持って引き継がれるため、5年早く移転することで維持費を削減し、QOLの向上に効果的な移転を行えるからである。その結果、2030年に最も多くの住民が移転することで施策費を確保することができ、これまでQOLが低いものの地価が高いため撤退地区に選ばれなかった地区から、QOLが高い地区への移転が可能になり、QOLの向上につながったと考えられる。またQOLを最大化すると市街地維持費は増大し、市街地維持費を最小化するとQOLが低下することから、この2つの指標はトレードオフの関係にあることがわかる。

(2) 最適化による都市形態の変化

a) QOL最大化モデルの都市形態

図-9に、QOL最大化モデルで選定された撤退地区・集

図-9 QOL 最大化モデルでの撤退・集結の様子 (2049年)

図-10 撤退・集結による各 QOL 構成要素の変化

結地区・撤退後再集結地区を示す。集結地区は4である。撤退地区とされた9地区のうち、後に6地区が再集結地区となるため、純粋に撤退した地区は3である。一旦撤退した後、再集結地区に選ばれる地区が6地区あった。この地区では、QOLは高いが住民数が少ないため、地区単位で得られる総QOLが低くなる。一度撤退した後、この地区へ以前の住民数を上回る住民が移転することにより、最終的に高いQOLが得られるようになっている。

QOL（獲得余命）は居住メッシュ平均が1.46年/人、撤退地区平均が0.51年/人、集結地区平均は2.03年/人となっている。QOLを構成する各要素から得られる獲得余命の撤退地区と集結地区の平均値を図-10に示す。撤退地区平均は全体的に低い値を示しており、集結地区は居住メッシュの平均並、もしくはそれ以上の値を示している。集結地区では「教育・文化施設利便性」、「健康・医療施設利便性」、「夜間人口1人当たり緑地面積」の要素が高い値を示している。また、撤退地区から集結地区へ移転することによって得られる獲得余命は「教育・文化施設利便性」で+0.38年/人、「健康・医療施設利便性」で+0.44年/人、「夜間人口1人当たり緑地面積」で+0.61年/人と他の要素に比べると高い値を示している。

都市空間構造に関しては、郊外から郊外への移転が起きている。図-9の集結地区は郊外の緑地面積の豊富な地区や、新潟県立中央病院・上越総合病院が立地する地区であり、大病院や緑地の近くに移転することがQOLを向上させることにつながっている。

図-11 市街地維持費最小化モデルでの撤退・集結の様子 (2049年)

図-12 撤退・集結に関わる地価と住民数の変化

b) 市街地維持費最小化モデルの都市形態

図-11に、市街地維持費最小化モデルの撤退・集結施策の実施結果を示す。撤退地区は27、集結地区は13となり、全体の11.0%の地区が撤退したことになる。

都市空間構造に関しては、郊外から中心市街地への移転が起きている。集結地区は鉄道沿線の中心市街地が多く、郊外の場合でも国道沿いである。QOL最大化モデルと比較して、インフラ整備が進みインフラストックが豊富な中心市街地への集結が多く見られた。市街地維持費最小化モデルで集結地区に選ばれた地区は受け入れ可能人口の上限である1地区当たり約400世帯を受け入れることができる。また、2005年から2049年の間にかかる夜間人口1人当たり市街地維持費は撤退地区で約950万円であるのに対し、集結地区は約357万円であった。受け入れ可能人口が多く、市街地維持費が安価であるため、集結地区として適しているといえる。

図-12に居住メッシュ、撤退地区、集結地区における地価と住民数を示す。撤退地区は平均よりも少ない住民数でかつ地価が安いことが分かる。多くの市街地維持費を削減するためには非効率的な地区から撤退する必要があるが、そのためには十分な撤退費が必要になる。その撤退費と密接に関わっているのが地価と住民数である。撤退費は式(9)に示すように、建物の取り壊し費、住宅地買収費、建物補償費で構成されており、建物補償費は築年数が耐用年数を超えていれば負担せず済むが、住宅地買収費と建物取り壊し費は必ず負担しなければなら

図-13 両立モデルでの撤退・集結の様子 (2049年)

図-14 撤退・集結に関わる地価と住民数の変化

ない。地価が安ければ住宅地買収費が安く抑えられ、住民数が少なければ建物補償費も抑えることができる。したがって市街地維持費最小化モデルでは地価が安く住民数が少ない地区が撤退地区に選ばれている。

c) 両立モデルの都市形態

図-13に、両立モデルの撤退・集結施策の実施結果を示す。撤退地区20地区のうち、後に3地区が再集結地区となるため、純粋に撤退した地区は17である。市街地維持費最小化モデルよりは少ないが、居住メッシュ全体の7.0%が撤退している。集結地区は8地区となっている。

都市空間構造に関しては、郊外から中心市街地もしくは郊外への移転が起きている。集結メッシュは市街地維持費最小化モデルほど顕著ではないものの、鉄道沿線の中心市街地の近く（高田～春日山間、春日山～直江津間）と郊外の主要な国道沿いになっている。獲得余命は居住メッシュ平均が1.46年/人、撤退地区平均が1.80年/人、集結地区平均は1.91年/人となっている。QOL最大化モデルと違い、獲得余命の低い地区が撤退地区に選ばれているわけではないが、図-8に示すように、QOLはほぼ横ばいとなっている。一方、2005年から2049年の間にかかる各地区の夜間人口1人当たりの市街地維持費は、居住メッシュ平均が約1,135万円、撤退地区平均が約1,183万円、集結地区平均は約864万円となっている。市街地維持費最小化モデルで選定された撤退地区と同様、両立モデルの撤退地区は、夜間人口1人当たり市街地維持費が高いことに加え、地価が安く住民数が少ないという特徴がある（図-14）。

図-15に撤退・集結による各QOL構成要素の変化を示す。両立モデルでは、移転で得られるQOLには顕著な差が見られなかったが、集結地区の「教育・文化施設利便性」や「健康・医療施設利便性」は高い値を示しており、これはQOL最大化モデルと共通している。まず、夜間人口1人当たりの市街地維持費が高く移転によるQOLの低下が少ない地区の住民が移転することで市街地維持費を削減し、その後にQOLが上昇するような移転を行うことで、QOLの向上と市街地維持費の削減が両立できるといえる。

図-15 撤退・集結による各QOL構成要素の変化

4. 結論

本研究では新潟県旧上越市を対象に、市街地維持費、QOL、住民数等のデータを約500m×500mの4次メッシュ単位で取得し、コンパクトシティ化を進めるための撤退地区と集結地区の選定において、1) QOL最大化モデル、2)市街地維持費最小化モデル、3)両立モデルの3モデルについて、遺伝的アルゴリズムを用いて最適化計算を行った。その結果から各モデルの特徴と都市形態の変化について考察した。

その結果、住民のQOLを向上させるには、郊外から郊外へ移転、特に大型病院のある地区や緑地の豊富な地区への移転が好ましいことが分かった。また自治体の財政負担を少なくするには、人口あたりの市街地維持費が高い郊外からインフラストックの豊富な中心市街地への移転が好ましいことが分かった。さらに住民のQOLを高め、自治体の財政負担を少なくするためには、まず、市街地維持費が高い地区から撤退し、一定の削減効果を得た後に、住民のQOLが増加するような移転が望ましいことが分かった。

実際に撤退・集結施策を実施する場合は、住民のQOLと自治体の財政負担の両方が考慮される。本研究において、シナリオの違いによる移転人数や都市空間構造の違いを比較し議論できたことは、有用な知見を提供するであろう。また今回の両立モデルのように、最適化計算によって、撤退・集結の手順を示せたことは、都市域コンパクト化のロードマップを示す手掛かりになると期待される。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費（E-1105）の支援により実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 東京都政策報道室：東京都が管理する社会資本の維

持更新需要額の推計－2001～2030 年度，道路，橋梁，上水道，下水道，地下鉄，住宅を中心に－，1998。

- 2) 福田貴之，加藤博和，林良嗣：地方中小都市における都市域拡大が将来の自治体財政に与える影響の分析，第 58 回土木学会年次講演会講演集，CDROM，2003。
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の市区町村別将来推計人口ー平成 12 (2000)～42 (2030)年，2004。
- 4) 海道清信：コンパクトシティー持続可能な社会の都市像を求めて，学芸出版社，2001。
- 5) 瀧澤重志，河村廣，谷明勲：遺伝的アルゴリズムを用いた都市の土地利用パターンの形成，日本建築学会計画系論文集，No.495，pp.281-287，1997。
- 6) 青木義次，村岡直人：遺伝的アルゴリズムを用いた地域施設配置手法，日本建築学会計画系論文集，No.484，pp.129-135，1996。
- 7) 加知範康，山本哲平，川添豊，加藤博和，林良嗣：市街地拡大抑制策評価のための市街地維持コスト推計システムの開発，土木計画学研究・講演集，Vol.36，2007。
- 8) 戸川卓哉，鈴木祐大，西野慧，加藤博和，林良嗣，河村幸宏，川瀬康博：トリプル・ボトムラインから見た都市域集約策の評価，土木計画学研究・講演集，Vol.42，CD-ROM (202)，2010。
- 9) Myers, D.: Building knowledge about quality of life for urban planning, *APA Journal*, pp.347-358, 1998。
- 10) Petrou, S. and Renton, A.: The QALY: a guide for the public health physician, *Public Health*, Vol.107, No.5, pp.327-336, 1993。
- 11) 加知範康，岑貴志，山本哲平，加藤博和，林良嗣：少子化が大都市住民の生活環境質に与える影響の定量評価，土木計画学研究・講演集，Vol.33，2006。
- 12) 鈴木祐大，川添豊，柴原尚希，加藤博和：都市域を対象とするライフサイクル環境負荷・維持コスト・QOL 推計システムの構築，第 4 回 LCA 学会研究発表会講演要旨集，pp.102-103，2009。
- 13) 加知範康，加藤博和，林良嗣，森杉雅史：余命指標を用いた生活環境質(QOL)評価と市街地拡大抑制策検討への適用，土木学会論文集 D，Vol.62，No.4，pp.558-573，2006。

(2012.2.25 受付)

AN APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM TO SELECT RETREAT AND COHESION AREAS

Masahiro NAGAO, Takahito AONO, Takuya TOGAWA,
Hirokazu KATO and Mitsuru SANO

Compact city is a promising urban form from a sustainability viewpoint, especially in developed countries. For urban planners, however, it is difficult to determine which areas should be expected to retreat and which should be concentrated. This paper discusses the morphology of an urban area after a retreat and concentration policy is implemented. The authors design and implement a genetic algorithm to determine areas that should retreat and those where concentration should occur to secure sustainability of a real local city. Changes in various indices related with Quality Of Life (QOL) and the urban forms that emerge are discussed. To evaluate this optimization technique, we focus on reducing maintenance expenses and improving the QOL within city government budget constraints. It is found that, in least maintenance cost option, people living in old houses/buildings or low land price areas may leave those districts and re-concentrate into areas where transport is convenient such as around train stations and national routes. In QOL maximization option, people living in the suburbs where transport is relatively inconvenient may move to more accessible areas. In medium option between least maintenance cost and most QOL, suburbs where land prices are low and where houses are old are the prior areas to retreat, followed by suburbs where transport is inconvenient. It is concluded that proposed optimization method, using a genetic algorithm for the evaluation of retreat and re-concentrate policies, is efficient and reliable.