

# 自律的な大学組織の相制関係に基づいた施設配置計画法

宗本 順三

京都大学大学院工学研究科・教授

(共同研究者：岩田伸一郎 同大学同研究科・助手)

## 1 研究の背景と目的

多くの建物群からなる大学施設などの配置計画では、計画の初期段階から全体の明確な目標や方向性を示すことができない場合が多く、また、目標や方向性が建設プロセスを通して不変であることも稀である。このような場合、建設プロセスの各段階で、その都度状況に応じて最良と考えられる判断が行われるため、初期段階では絶対的な評価の尺度をあえて設定しない方が好ましい。C・アレグザンダーは、計画全体の明確な目標を定める近代の全体主義的な計画法の限界を指摘し、部分同士が協調することで形成される全体の秩序の重要性を、「全体性」\*注という言葉を用い説明している。また、彼は、そのような「全体性」は、個々の建設行為が互いに協調することによって導かれるもので、全体に対する共通の理解は、各段階で議論を重ねるフィードバックのプロセスによって次第に明確になると述べている<sup>文献1,2)</sup>。

筆者らは、遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワークを用いた配置計画法を既に数多く発表しているが<sup>文献3)文献4)</sup>、これらの手法では演算過程で計画全体を評価する尺度が不可欠であり、計画全体の目標を段階的にしか明確化することのできない問題に対して適用することは難しい。計画条件がますます複雑化し、多様な価値観が存在する建築の問題にとって、計画全体を評価する尺度を設けることなく、それを段階的に形成しながら配置プランを導く計画手法を提示することの意義は大きい。

大学キャンパスは様々な単位空間の集合と捉えられる。そこで、「配置プランを構成する単位空間がお互いの条件を満たそうと制御し合う関係(以下、相制関係)」をモデル化することで、個別の計画条件や計画者の目標(以下、計画ポリシー)に応じて全体と部分の機能的な調和のとれた配置プランを導く計画法を考える。

計画全体の明確な計画ポリシーを示すことができない場合、計画者は、部分の相制関係が満たすべき暫定的な目標を設定し、それによって導かれる配置プランを経験的に評価することで、段階的に計画ポリシーを具体化さ

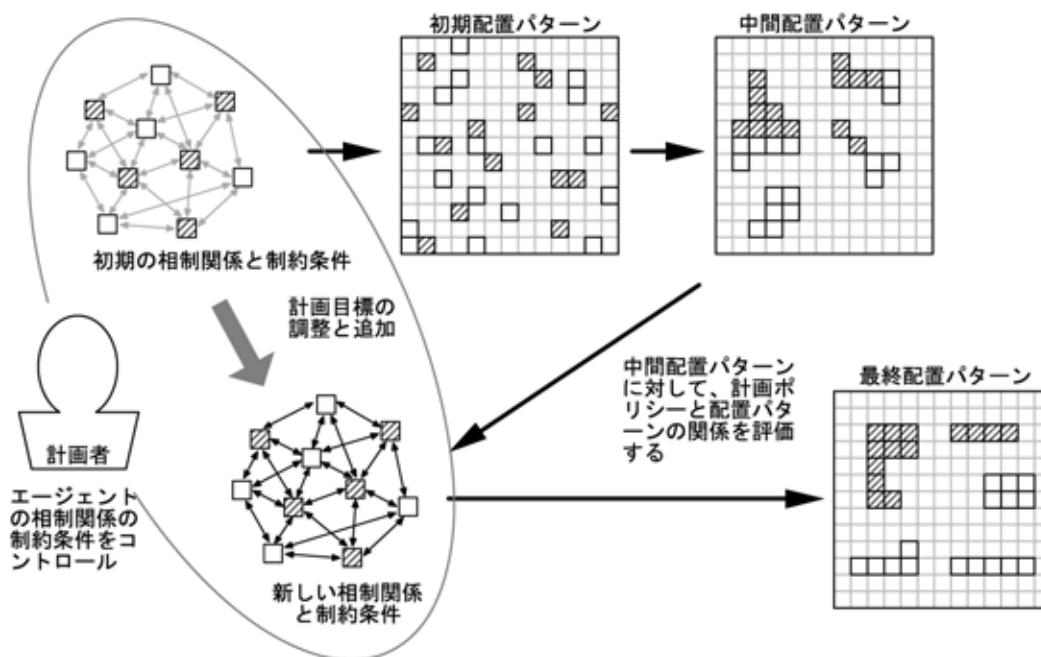


図1 マルチエージェントシステムを用いた協調型計画プロセス

せる必要がある。計画ポリシーの変化に応じて、部分の相制関係が満たすべき制約条件を調整したり、新たに追加することで、協調的に配置プランを導くプロセスが有効であると考ええる。

マルチエージェントシステムは、複数の行動主体（エージェント）が協力して全体の問題を解決する分散型システムである。各エージェントが個別の行動ルールや目標を持ち、個々が交渉しながら均衡する状態を探索することによって高度で複雑な処理を可能とする。エージェントが状況に応じて自律的に合併や分割などの再編を行う特性は、多くの主体の意思によって成立する現実社会のモデルとして応用されている。

本論では、計画全体を評価する明確な尺度が存在しない施設配置計画において、施設を構成する単位空間の相制関係をモデル化してマルチエージェントシステムの自己組織化機能を適用し、その相制関係を調整することで段階的に計画を決定する施設配置計画法を提案する。京都大学本部構内を事例として、保存建物、構内道路等の保持すべきキャンパスの骨格を制約条件として持つときの複雑な組織同士の関係や施設配置を求める。大学組織は様々な研究教育単位によって構成されており、しばしば個々の主体的な行動が全体的な組織構成や施設配置に比べて重視される。そこで、大学の各組織に属する単位空間をエージェントとして扱い、それぞれのエージェントに行動ルールと、周辺の他のエージェントとの関係の制約条件とを与えることで、全てのエージェントが条件を満たして安定する状態（以下、配置パターン）を探索させる。キャンパス全体で見ると、大学の施設配置計画では配置パターンに関わらず容積率は一定となるが、建蔽率や建物分布の密度には様々な配置パターンが考えられる。また、建物の規模や棟数と共に、異種のエージェントの混在度も異なることが予想されることから、エージェントの相制関係に対して与えられる計画ポリシーが、配置パターンに与える影響を考察する。

## 2 本論の位置付け

建築分野におけるマルチエージェントシステムの適用事例として、藤井他による、複数主体の協調による作業効率などの推移のシミュレーション<sup>文献5,6)</sup>や、藤岡他による、津波発生時の多種多様な人間行動のモデル化による群集の避難シミュレーション<sup>文献7)</sup>がある。また、瀧澤他は、土地利用の形成要因の解明を目的として、現実都市の土地利用パターンを再現するモデルに応用している<sup>文献8)</sup>。これらの既往研究では、現実世界をよりリアルに再現するために、エージェントの行動ルールやその条件は客観的で正確な情報に基づいて決定することが重要とされており、マルチエージェントシステムの本質的な「問題構成要素の協調行動や動的な変遷過程を再現する機能」を用いて問題のメカニズムを解明することが目的とされている。

本論は、エージェントに与える行動ルールとその制約条件を初期段階では暫定的なものと位置付ける。個別のエージェントが条件を充足する特性と条件の容易な操作性を用いて、エージェントの行動ルールと制約条件を段階的に調整することで、計画全体を評価する尺度を定めることができない配置問題に対する定常的な配置パターンの獲得を試みる点で独創的である。また、同じく評価の尺度が不明瞭な設計問題を扱い、その尺度の獲得を目的とした設計プロセス論の分野における研究<sup>文献9)</sup>に対し、本論は、計画者が主体的に与える部分と全体の計画目標が満たされた計画案の獲得を目的とした方法論として位置付けられ、他に類似する研究はない。

## 3 マルチエージェントシステムによる施設配置モデル

### 3-1 配置問題の条件

事例として取り上げた京都大学本部構内キャンパスは、第2種住宅専用地域（容積率200%、建ぺい率60%）、20m第1種高度地区に指定されており、敷地面積は162,270 m<sup>2</sup>で、現在の建築面積は55,433 m<sup>2</sup>（建蔽率34.2%）、総延床面積は248,537 m<sup>2</sup>（容積率153.2%）である。近年、高度地区の特例が適用され、高さ30m以下の建物まで建設することが可能となっている。

施設の老朽化と狭隘の改善が課題とされ、京都大学施設長期計画書に従って施設の更新が行われてきた。しかし、新キャンパスの新設に伴う工学研究科の大規模移転や組織の再編成といった大きな変化が発生し、将来計画施設配置図の見直しが不可欠となっている。従来計画に基づいて既に建設された建物や歴史的価値の高い保存建物を維持することを前提条件とした、新たな施設配置の将来ビジョンが求められる。本論の配置計画の対象は表1の通りである。

### 3-2 エージェントと配置空間の設定

本論で設定するエージェントは、組織エージェントと環境エージェントに大別することができる（表2）。組織エージェントは移動可能なエージェントで、1つのエージェントは1つの組織によって専有される単位空間を表

表1 配置計画の対象となる面積表

	要求面積 (㎡)	既存面積 (㎡)	対象面積 (㎡)	エージェント数
自然科学系ゾーン(自然系)	81,110	38,110	43,000	306
人文科学系ゾーン(人文系)	86,070	21,910	64,160	456
共用施設ゾーン	52,480	52,480	0	0
計	219,660	112,500	107,160	762

す。環境エージェントは固定されたエージェントであり、保存建物およびキャンパス周辺や構内道路として、組織エージェントが活動する環境を形成する。

京都大学のほとんどの校舎は7.5mをモジュールとしており、奥行きを2スパンとした中廊下型の建物が多い。1つのエージェントの平面形状は、既存建物のモジュールに従って7.5m x 7.5mと設定する。

建物の最高高さを30m以下となることを考慮し、1エージェントの高さを10mとし、同じ位置に1つだけ配置されたときを「低層」、2つ積層されたときを「中層」、3つ積層されたときを「高層」と定義し、この3タイプの高さの建物によって、立体的なキャンパス空間が構成されるものとする。

表2 エージェントの種類

組織 エー ジ ェ ン ト	自然系エージェント	低層	計306	配置対象 移動可
		中層		
高層				
人文系エージェント	低層	計456	移動不可	
	中層			
高層				
環境 エー ジ ェ ン ト	保存共通エージェント	低層	150	移動不可
	保存自然系エージェント	中層	130	
		高層	113	
	保存人文系エージェント	低層	42	
		中層	25	
	高層	16		
構内道路エージェント		18	486	
キャンパス周辺エージェント			1099	

エージェント数は1エージェントが2.5層として計算

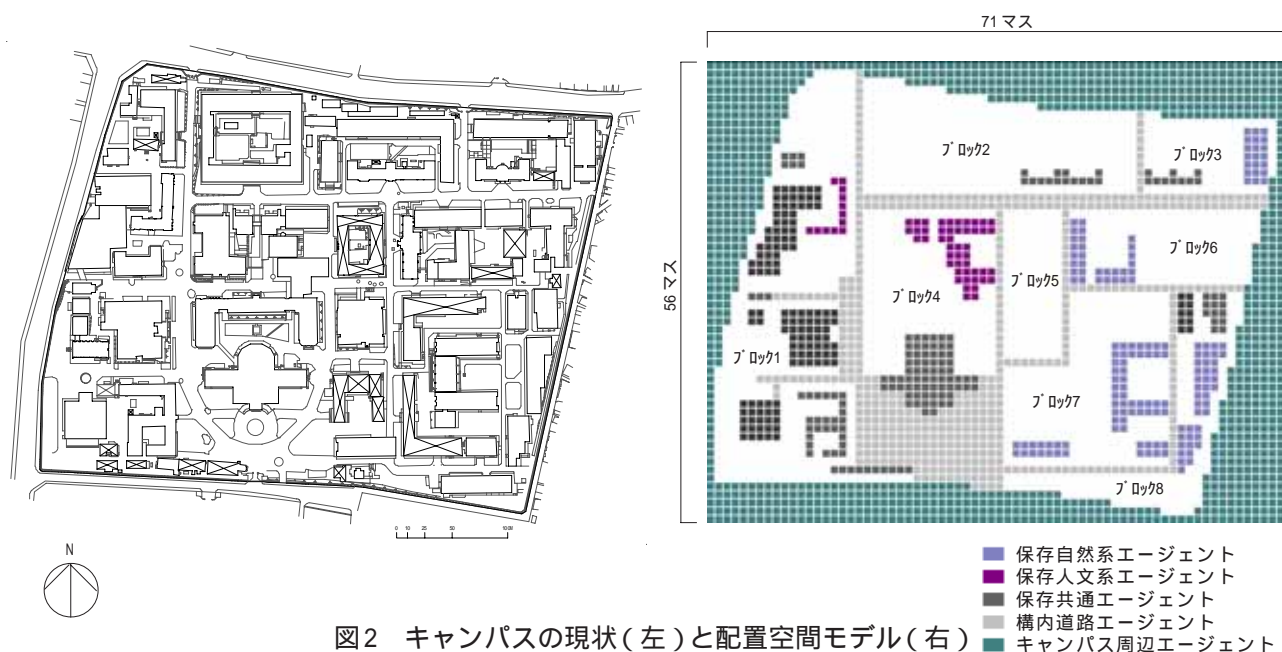


図2 キャンパスの現状(左)と配置空間モデル(右)

エージェントの配置空間として、図2に示す71 × 56マス (= 計397,6マス)の格子状平面を用意する。これは現状のキャンパスの配置を簡略化したモデル空間である。1マスはエージェント平面と同サイズの7.5m × 7.5mとし、初期状態において既に環境エージェントは配置されており、組織エージェントを空白のセルにのみ配置することができる。低層(GL)/中層(+10m)/高層(+20m)の3層の配置空間を設け、3層の配置空間におけるエージェントの配置によって、キャンパスの3次元的な配置パターンを表現する。

### 3-3 エージェントの相制関係の定義と行動ルール

エージェントの相制関係を、指定された影響範囲内に存在する各種エージェント数の組み合わせによって定義する。影響範囲の指定方法を図3に示す。任意のエージェントの座標を $(x,y)$ とし、このエージェントへの他のエージェントからの影響範囲を示すパラメータを $k$ とすると、座標 $(i,j)[x-k \leq i \leq x+k, y-k \leq j \leq y+k]$ 上に存在する他のエージェントの影響を受けるものとする。 $k$ は、エージェントの種類によって決まる値であり、AとBの2種類のエージェント間の影響力を考えると、AからBに対する影響範囲とBからAに対する影響範囲は区別する。

本論では概略的な空間配置を求めることを目的としていることから、上下方向の移動のための階段やエレベーターの配置に関しては考慮していない。そのため、全ての平面座標において上下方向の移動をスムーズに行うことができるものと仮定し、影響範囲は平面方向にのみ設定している。

エージェントごとに、そのエージェントの影響範囲内に存在する他の各種エージェントの数の条件に応じた行動ルールを与える。一つのエージェントの振る舞いは複数の動作ルールによって規定され、他のエージェントの振る舞いによって動的に変化する環境下において、各エージェントは全ての条件を満たす安定した位置を探索する。組織エージェント同士は同じ位置に重複して配置することが出来るものとし、重複配置されたエージェントは、影響範囲の各種エージェントのまとめり度合の評価に基づいて、各層の配置空間に分配される(表3)。

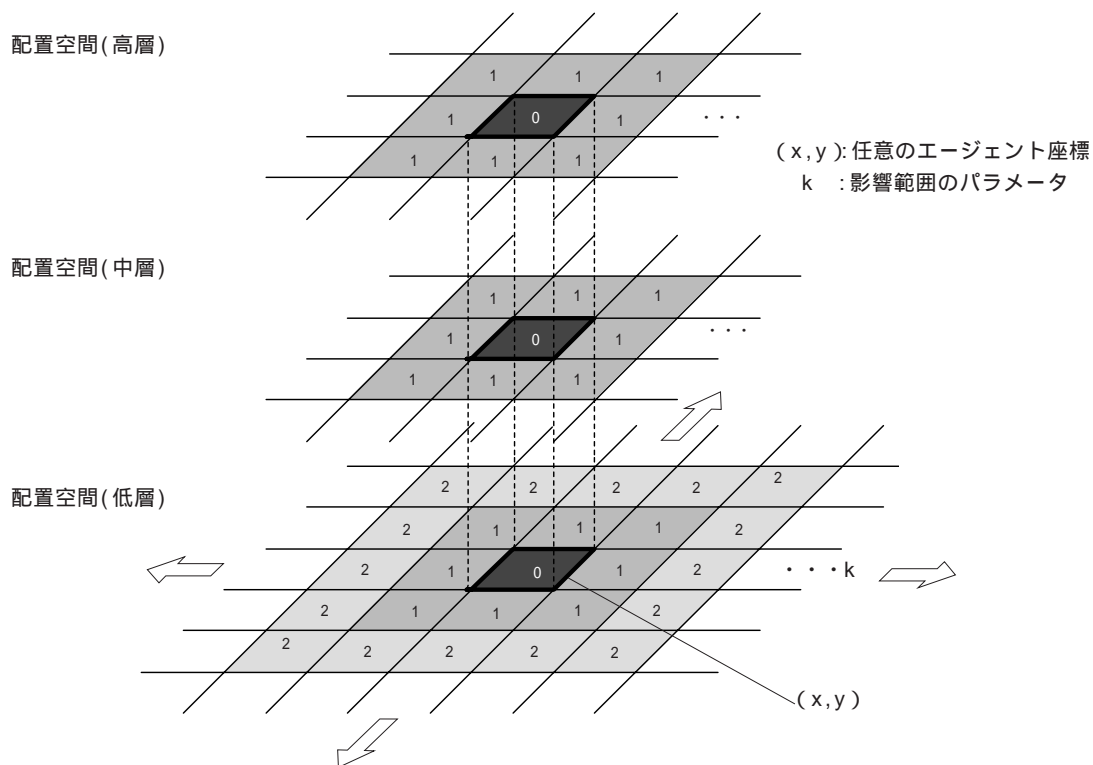


図3 影響範囲



表3 エージェントの重複と配置パターン

組織	重複エージェント数		配置パターン 決定条件	配置パターン		
	自然系	人文系		低層空間	中層空間	高層空間
1	1	0	無条件	自然系	なし	なし
	0	1	無条件	人文系	なし	なし
2	2	0	無条件	自然系	自然系	なし
	1	1	2パターンから、まとまりを比較してよい方を選択	自然系 人文系	人文系 自然系	なし なし
	0	2	無条件	人文系	人文系	なし
3	3	0	無条件	自然系	自然系	自然系
	2	1	3パターンか、らまとまりを比較して最もよいものを選択	自然系 自然系 人文系	自然系 人文系 自然系	人文系 自然系 自然系
	1	2	3パターンから、まとまりを比較して最もよいものを選択	自然系 人文系 人文系	人文系 自然系 人文系	人文系 人文系 自然系
	0	3	無条件	人文系	人文系	人文系

3-4 変数とパラメータ

各エージェントのまとまり度合やエージェントの相制関係に関する条件は、「隣接する各エージェントの数」と「影響範囲に存在する各エージェントの数」の組み合わせとして表現することができる。影響範囲内に存在可能な各種エージェントの数を変数とし、この変数が満たさなくてはならない条件を与えることで、エージェントの振る舞いをコントロールする(表4)。全てのエージェントがこの表4にあげた変数を属性として持つわけではなく、問題ごとに、あるいはエージェントごとに、属性として持つ変数の組み合わせは異なる。この他に、エージェントごとに機動力  $m$  を設定する。座標  $(x, y)$  にあるエージェントは、座標  $(i, j)$  [ $x-m \leq i \leq x+m, y-m \leq j \leq y+m$ ]の中から、条件に対して最も適切な位置を探索して移動することができる。

表4 変数の一覧

エージェントA (x, y) の変数	影響範囲(k)	内容
S1	1	低層空間に存在する自然系エージェント数
S2	1	中層空間に存在する自然系エージェント数
S3	1	高層空間に存在する自然系エージェント数
S4	1	低層空間に存在する人文系エージェント数
S5	1	中層空間に存在する人文系エージェント数
S6	1	高層空間に存在する人文系エージェント数
S7	1	保存共通(低層)エージェント数
S8	1	保存共通(中層)エージェント数
S9	1	保存自然系(中層)エージェント数
S10	1	保存自然系(高層)エージェント数
S11	1	保存人文系(低層)エージェント数
S12	1	保存人文系(中層)エージェント数
S13	1	保存人文系(高層)エージェント数
N1	k1	低層空間に存在する自然系エージェント数
N2	k2	中層空間に存在する自然系エージェント数
N3	k3	高層空間に存在する自然系エージェント数
N4	k4	低層空間に存在する人文系エージェント数
N5	k5	中層空間に存在する人文系エージェント数
N6	k6	高層空間に存在する人文系エージェント数
N7	k7	保存共通(低層)エージェント数
N8	k8	保存共通(中層)エージェント数
N9	k9	保存自然系(中層)エージェント数
N10	k10	保存自然系(高層)エージェント数
N11	k11	保存人文系(低層)エージェント数
N12	k12	保存人文系(中層)エージェント数
N13	k13	保存人文系(高層)エージェント数
N14	k14	キャンパス周辺エージェントの数
N15	k15	構内道路エージェントの数
N16	k16	エージェントを中心とした局所的なエリアの建蔽率
N17	k17	エージェントを中心とした局所的なエリアの容積率
N18	なし	キャンパス全体の建蔽率

エージェントの行動ルールは、計画の目的に関わらず、エージェントが満たさなければならない共通配置ルール(表5)と、目的ごとに独自に設定される個別配置ルール(表6～8)に分けられる。計画者によって設定される、各変数が満たすべき条件やパラメータの組み合わせによって示される個別配置ルールを、本モデルでは計画ポリシーと考える。

表5 共通ルール

対象エージェント	計画の前提条件	エージェントの行動ルール
組織エージェント	環境エージェントと重なって配置されてはいけない。	もし、自分の位置に環境エージェントが存在するときには移動する。
組織エージェント	全ての建物が低層・中層・高層の3タイプから構成される。	もし、重複するエージェント数が3より大きいときには移動する。
中層に配置された組織エージェント	ピロティは考慮しない。	もし、自分と同位置の低層に組織エージェントが存在しないときには移動する。
高層に配置された組織エージェント	ピロティや中間外部層は考慮しない。	もし、自分と同位置の中層および低層に組織エージェントが存在しないときには移動する。

### 3-5 マルチエージェントシステムのフロー

まず、表2の自然系エージェントと人文系エージェントを、低層の配置空間に環境エージェントと重ならないようにランダムに配置する。エージェントごとに、1ステップごとに共通ルールと個別ルールを満たしているかを判定し、もし全ての条件を満たせば安定した状態となり、条件を1つでも満たさない場合には、周囲のエージェントの状態に応じて移動する。

マルチエージェントシステムは、理論的には複数のエージェントが同時多発的に振る舞いを行うものであるが、コンピューターの演算処理において、実際には1つ1つのエージェントの処理を順番に行わざるを得ない。処理順序によって次のステップで読み込まれる状態が異なるばかりか、実際にはありえない状態も発生してしまう。ステップごとの振る舞いを厳密にコントロールする工夫として、状態の一時的なバックアップを行う。各ステップにおいて、「読み込まれる前ステップの配置パターンの状態」に基づいて、「個々のエージェントの変化後の状態」が求められ、そのデータがバックアップされる。全てのエージェントの処理がに基づいて行われた後、

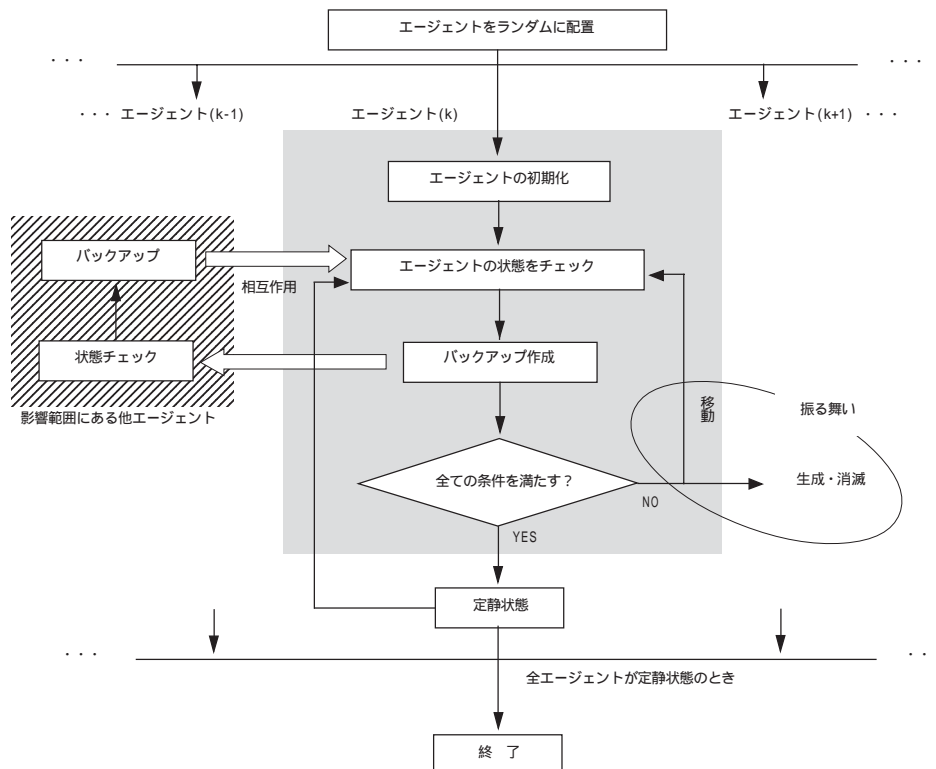


図4 システムのフロー

全てのエージェントに関する のデータを同時に書き出し、 の更新を行う( 図4 )。この操作によって、処理順序に左右されない同時多発的なエージェントの振る舞いを再現することが可能となる。

各エージェントは、一旦、全ての条件を満たして安定した状態となったとしても、他のエージェントの振る舞いによって条件を満たされなくなれば、再び移動を繰り返す。全てのエージェントは各ステップごとに必ず1度評価され、全てのエージェントが安定した状態となったとき、試行を終了する。

#### 4 シミュレーション

事例として取り上げた京都大学の問題として、「異なる組織を混在させない施設配置計画」と「複数組織の混在を許容した施設配置計画」の2つの計画指針を想定する。これに基づいて計画ポリシーを設定・調整することで、エージェントの相制関係が良好に保たれた配置パターンを求めるとともに、計画ポリシーと配置パターンの関連性を分析する。

##### 4-1 異なる組織を混在させない施設配置計画( ケース1 )

まず、従来の大学施設配置の一般的な考え方として、建物を単位とし、1つの建物を1つの部局や学科といった組織に割り当てることで、建物ごとに使用組織を明確にする場合を考える。現状のキャンパスはこの考え方に基づいて形成されてきた。廊下・階段室・トイレといった共有スペースを含めて、建物を単位で使用組織を特定することができるため、施設管理上の利点が大きいと考えられる。

このケースでは、まず各種エージェントの個別配置ルールを表6のように設定する。機動力は自然系・人文系ともに  $m=3$  とする。

上記の条件に対して導かれた配置パターン( ケース1-1 )を図5に示す。キャンパス全体の建蔽率は32.9%となり、簡単な条件式で規定されたエージェント同士の相制関係から、1つの建物に異組織が混在しない明確なゾーニングの行われた配置パターンが導かれた。人文系エージェントの隣接に関する集合数の条件を小さく設定したことから、小規模で多数棟の建物として分散配置されるか、低層の大規模建物として配置されることが予想されたが、低層と中層おける建物規模や分布密度は自然系と同程度となっている。これは自然系エージェント数に対

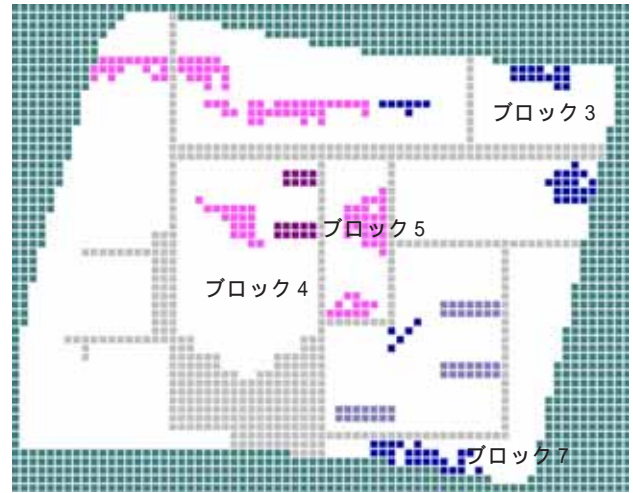
表6 ケース1-1におけるエージェントの個別配置ルール

対象エージェント	計画ポリシー	エージェントの行動ルール
自然系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	影響範囲 $k=8$ の保存自然系エージェント数が0のときは移動する(=自然系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する)。 [ $k_9=k_{10}=8$ に対して、 $N_9+N_{10} \neq 0$ を満たす。]
	大規模な実験室等の比較的大きめの教室を多く必要とする。	隣接する他の自然系エージェント数をカウントし、その値が6以下の場合には移動する。 [ $S_1+S_2+S_3 > 6$ を満たす。]
	人文系との混在は特に問題としない。	人文系エージェント数に関する条件は特に設定しない。
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント・保存自然系エージェント・保存人文系エージェントの合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]
人文系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	影響範囲 $k=8$ の保存人文系エージェント数が0のときは移動する(=人文系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する)。 [ $k_{11}=k_{12}=k_{13}=8$ に対して、 $N_{11}+N_{12}+N_{13} \neq 0$ を満たす。]
	研究単位が小さく、同組織内の他の研究チームとの関係は弱い。	隣接する他の人文系エージェント数をカウントし、その値が3以下(自然系エージェントの1/2の集合サイズまで許容する)の場合のみ移動する。 [ $S_4+S_5+S_6 > 3$ を満たす。]
	騒音・振動を考慮して自然系実験室との隣接は望ましくない。	隣接する自然系エージェント数と保存自然系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $k_1=k_2=k_3=1$ および $k_9=k_{10}=1$ に対して、 $N_1=N_2=N_3=0$ および $N_9=N_{10}=0$ を満たす。]
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント数・保存自然系エージェント数・保存人文系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]





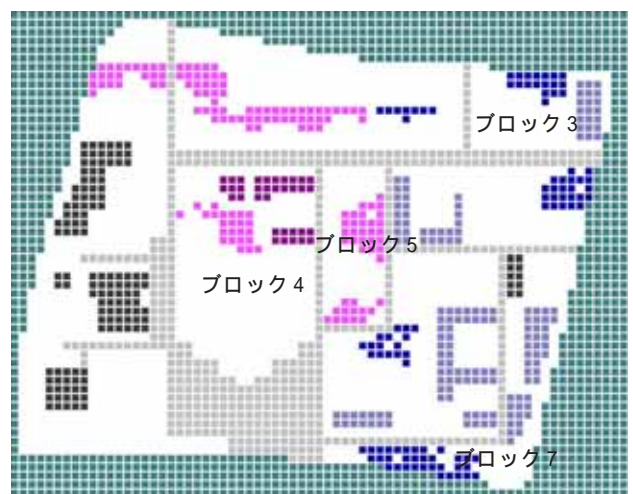
<高層> 自然系エージェント数=37  
人文系エージェント数=21



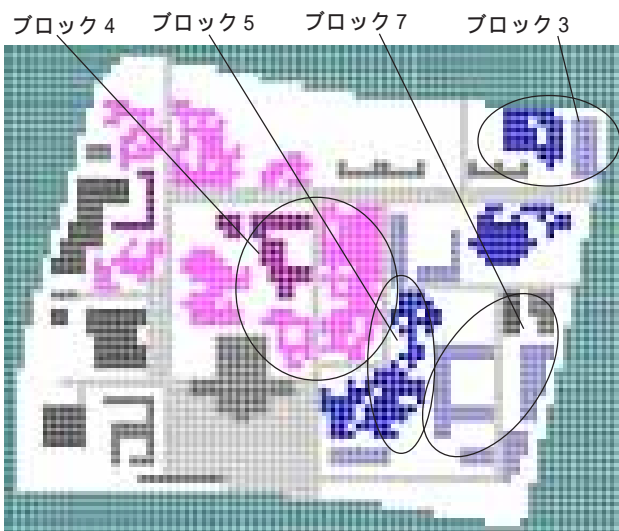
<高層> 自然系エージェント数=71  
人文系エージェント数=123



<中層> 自然系エージェント数=100  
人文系エージェント数=150



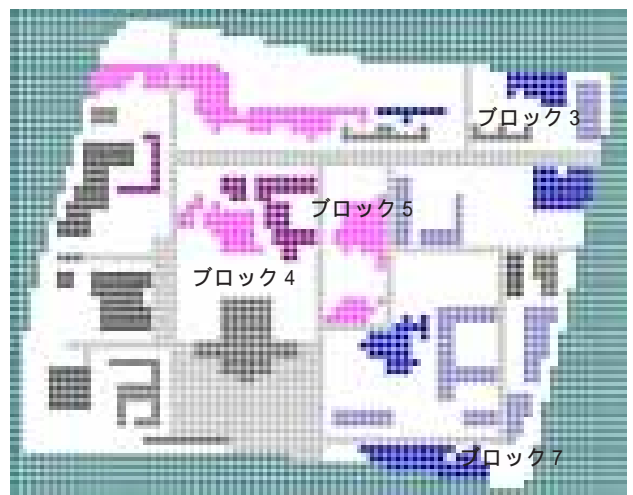
<中層> 自然系エージェント数=98  
人文系エージェント数=145



<低層> 自然系エージェント数=169  
人文系エージェント数=285

○ キャンパス全体の建蔽率(32.9%)に  
対して、建て詰まり感が「強い」。

- 自然系エージェント
- 人文系エージェント
- 保存自然系エージェント
- 保存人文系エージェント
- 保存共通エージェント
- 構内道路エージェント
- キャンパス周辺エージェント



<低層> 自然系エージェント数=137  
人文系エージェント数=188

- 自然系エージェント
- 人文系エージェント
- 保存自然系エージェント
- 保存人文系エージェント
- 保存共通エージェント
- 構内道路エージェント
- キャンパス周辺エージェント

図5 ケース1-1の配置パターン(812ステップ)  
[異なる組織を混在させないとき]

図6 ケース1-2の配置パターン(2,583ステップ)  
[ローカルな建蔽率30%以下の条件を追加したとき]



し人文系エージェントの数が約1.5倍存在するため、個々のエージェントの関係性を弱く設定したとしても同程度の密度とならざるを得ないためと考えられる。ただし、高層における分布では、自然系エージェント数が人文系エージェント数を大きく上回る結果となっていることが特徴的である。

ブロック4・ブロック5・ブロック7では、エージェントの密度が高く建て詰まり感が強い。キャンパス空間において建て詰まり感を軽減することは、外部空間を評価する重要な指標の1つである。キャンパス全体の建蔽率は32.9%で現在のキャンパスと同等の値となっているものの、計画の要求面積は現状の延床面積に比べ12%少ないことを考慮すると、優れた計画とは言えない。そこで、組織エージェントの満たすべき条件を見直し、新たにエージェントを中心とした「ローカルなエリアの建蔽率」を検討する。

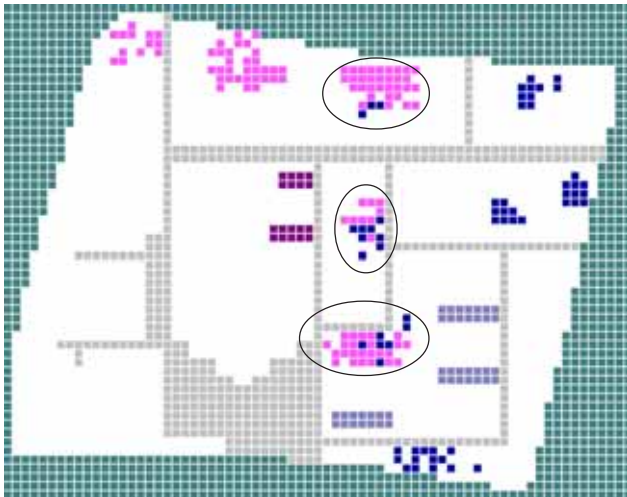
保存建物の建築面積はエージェント数にして494で、平均建物階数は4.1階である。新築建物を全て4階建てと仮定するとキャンパス全体の建蔽率33.8%となり、また、全て8階建てであると仮定すると25.6%となる。この値を目安として、ローカル( $k_{16}=10$ )な建蔽率を30%以下( $N_{16} \leq 30$ )とすることを計画ポリシーに加える。これによって導かれた配置パターン(ケース1-2)を図6に示す。キャンパス全体の建蔽率は28.5%となり、ケース1-1の結果と同様に明確なゾーニングが行われ、同じ建物内に異なる組織の混在は見られない。新しく加えられた条件を満たすために配置パターンの調整が行われており、ブロック4・ブロック5・ブロック7の局所的な建て詰まり感が改善されている。組織エージェントの高さ方向の密度を比較してみると、ケース1-1では低層:中層:高層 = 1 : 0.55 : 0.13であったのに対し、ケース1-2では低層:中層:高層 = 1 : 0.75 : 0.60となっており、中層・高層の密度が増加している。また、建物が高層化するだけでなく、各棟が明確に分棟される傾向も見受けられる。

#### 4-2 複数組織の混在を許容した施設配置計画(ケース2)

ケース1に対し、建物を単位とする前提条件にとらわれない場合の配置パターンを考える。近年の新たな研究領域の誕生や組織再編成の変化に伴い、1建物に1組織を割り当てるという枠組みは崩れ、1つの建物を異なる

表7 ケース2-1におけるエージェントの個別配置ルール

対象エージェント	計画ポリシー	エージェントの行動ルール
自然系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	自然系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する(=影響範囲 $k=8$ の保存自然系エージェント数が0のときは移動する)。 [ $k_9=k_{10}=8$ に対して、 $N_9+N_{10} \neq 0$ を満たす。]
	大規模な実験室等の比較的大きめの教室を多く必要とする。	隣接する他の自然系エージェント数をカウントし、その値が6以下の場合には移動する。 [ $S_1+S_2+S_3 > 6$ を満たす。]
	人文系建物や共通建物との混在は特に問題としない。	人文系、保存人文系、保存共通エージェント数に関する条件は特に設定しない。
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント・保存自然系エージェント・保存人文系エージェントの合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰まり感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=10$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k_{16}=10$ に対して、 $N_{16} \leq 30$ を満たす。]
人文系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	影響範囲 $k=8$ の保存人文系エージェント数が0のときは移動する(=人文系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する)。 [ $k_{11}=k_{12}=13=8$ に対して、 $N_{11}+N_{12}+N_{13} \neq 0$ を満たす。]
	研究単位が小さく、同組織内の他の研究チームとの関係は弱い。	隣接する他の人文系エージェント数をカウントし、その値が3以下(自然系エージェントの1/2の集合サイズまで許容する)の場合のみ移動する。 [ $S_4+S_5+S_6 > 3$ を満たす。]
	自然系建物や共通建物との混在は特に問題としない。	自然系、保存人文系、保存共通エージェント数に関する条件は特に設定しない。
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント数・保存自然系エージェント数・保存人文系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰まり感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=10$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k_{16}=10$ に対して、 $N_{16} \leq 30$ を満たす。]



<高層> 自然系エージェント数=61  
人文系エージェント数=109



<中層> 自然系エージェント数=110  
人文系エージェント数=147



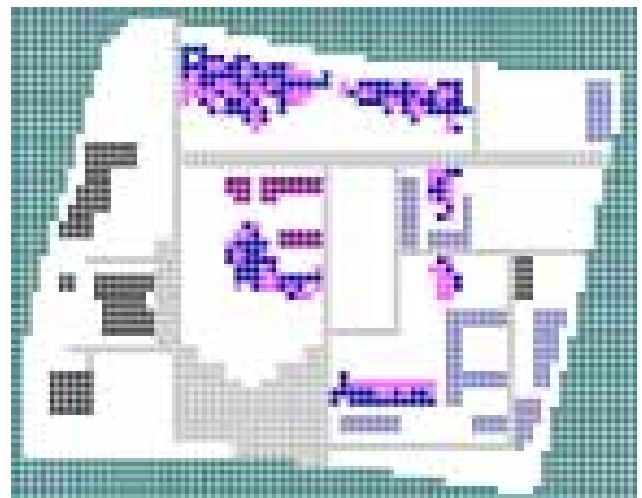
<低層> 自然系エージェント数=135  
人文系エージェント数=200

○ 複合建物

■ 自然系エージェント  
■ 人文系エージェント  
■ 保存自然系エージェント  
■ 保存人文系エージェント  
■ 保存共通エージェント  
■ 構内道路エージェント  
■ キャンパス周辺エージェント



<高層> 自然系エージェント数=35  
人文系エージェント数=154



<中層> 自然系エージェント数=152  
人文系エージェント数=103



<低層> 自然系エージェント数=119  
人文系エージェント数=199

○ まとまった広さのオープンスペースの確保

■ 自然系エージェント  
■ 人文系エージェント  
■ 保存自然系エージェント  
■ 保存人文系エージェント  
■ 保存共通エージェント  
■ 構内道路エージェント  
■ キャンパス周辺エージェント

図7 ケース2-1の配置パターン(1,437ステップ)  
[異なる組織の混在を許容したとき]

図8 ケース2-2の配置パターン(2,182ステップ)  
[異なる組織の積極的な混在と適度に不均質なキャンパス全体の形成を条件としたとき]

組織によって使用されるケースが増えている。先に述べたように、建物を単位とした施設配置は施設管理上の利点が高いが、配置パターンを考える上での大きな制約条件となっている。ここでは、1建物1組織の条件にとらわれず、組織エージェント同士の相制関係だけをより重視したときの、配置パターンの可能性と異なる組織の混在度に関する傾向を調べる。

個別配置ルールとして表7を設定し、このルールによって導かれた配置パターン(ケース2-1)を図7に示す。自然系エージェントと人文系エージェントの混在を制御する行動ルールは取り除いているが、同建物や同階における混在は起こっていない。同種類のエージェントの集合過程において、ある場所に小さな集合が生成されると、他のエージェントは別の場所に集合して条件を満たすよりも既にある集合に加わることで条件を満たそうとする。その結果、条件として与えた数値に対してより大きな集合が形成され易く、極端な分散が発生しないと考えられる。人文系保存建物が配置されたブロック4と自然系保存建物が多いブロック6・ブロック7の中間に自然系と人文系の複合建物が生成されており、周辺のエージェントの影響を受けて建物内のゾーニングが行われている。

表8 ケース2-2におけるエージェントの個別配置ルール

対象エージェント	計画ポリシー	エージェントの行動ルール
自然系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまりはあまり重視しないが、極端な分散は避ける。	影響範囲 $k=8$ の保存自然系エージェント数が0のときは移動する(=自然系保存建物を核として、25マスの範囲を超えて配置されてはならない)。 [ $k7=10, k8=10$ に対して、 $N7+N8 \neq 0$ を満たす。]
	研究単位の孤立を避ける。	隣接する他の自然系エージェント数をカウントし、その値が4以下の場合には移動する。 [ $(S1+S2+S3) > 4$ を満たす。]
	学融合を意図した人文系との適度な混在を確保する。	$k=1$ の範囲に存在する自然系エージェント数の和をA、人文系エージェントの和をBとしたとき、 $A \leq B/3$ または $A \geq 2B$ のときは移動する(=隣接するエージェントの種類が一方の系に偏偏ってはならない)。 [ $(S4+S5+S6)/3 < S1+S2+S3 < 2(S4+S5+S6)$ を満たす。]
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント・保存自然系エージェント・保存人文系エージェントの合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S7+S8+S9+S10+S11+S12+S13 \neq 0$ を満たす。]
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰め感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=15$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k16=15$ に対して、 $N16 \leq 30$ を満たす。]
	キャンパス外部への影響を考慮して、敷地境界から一定距離内には配置しない。	影響範囲 $k=2$ のキャンパス周辺エージェント数が1以上のときは移動する(=キャンパスの敷地境界線から2マスの範囲に新築建物ができないようにする)。 [ $k14=2$ に対して、 $N14=0$ を満たす。]
人文系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまりはあまり重視しないが、極端な分散は避ける。	影響範囲 $k=8$ の保存人文系エージェント数が0のときは移動する(=人文系保存建物を核として、25マスの範囲を超えて配置されてはならない)。 [ $k11=k12=k13=15$ に対して、 $N11+N12+N13 \neq 0$ を満たす。]
	学融合を意図した自然系との適度な混在を確保する。	$k=1$ の範囲に存在する自然系エージェント数の和をA、人文系エージェントの和をBとしたとき、 $B \leq A/2$ または $B \geq 3A$ のときは移動する(=隣接するエージェントの種類が一方の系に偏偏ってはならない)。 [ $(S4+S5+S6)/3 < S1+S2+S3 < 2(S4+S5+S6)$ を満たす。]
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント数・保存自然系エージェント数・保存人文系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S7+S8+S9+S10+S11+S12+S13 \neq 0$ を満たす。]
	研究単位の独立性が高く、分散配置を問題としない。	まとまりに関する条件は特に設定しない。
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰め感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=15$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k16=15$ に対して、 $N16 \leq 30$ を満たす。]
	共通建物の利用者が多いため、保存共通建物への距離を考慮する。	影響範囲 $k=10$ の保存共通エージェント数が0のときは移動する(=10マスの範囲に共通建物が存在してはならない)。 [ $k7=k8=10$ に対して、 $N7+N8 \neq 0$ を満たす。]
	キャンパス外部への影響を考慮して、敷地境界から一定距離内には配置しない。	影響範囲 $k=2$ にキャンパス周辺エージェントが1つ以上存在するときは移動する(=キャンパスの敷地境界線から2マスの範囲に新築建物ができないようにする)。 [ $k14=2$ に対して、 $N14=0$ を満たす。]



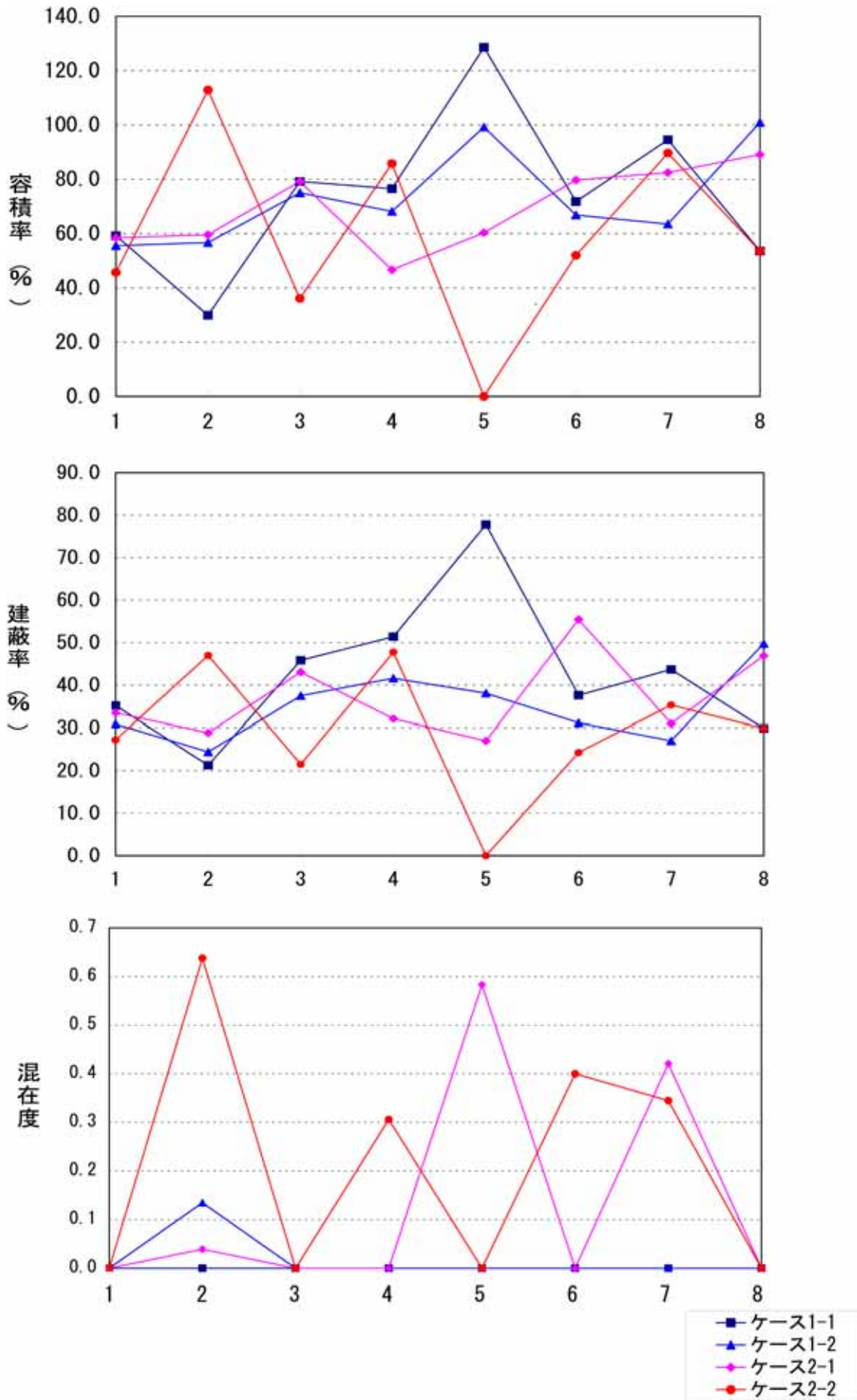


図9 各ケースにおけるブロック別の[建蔽率][容積率][自然系・人文系混在度](横軸はブロックNo.)



次に、組織間の交流を誘発させることを意図して、2つの組織を積極的に混在させる計画ポリシーを考える。また、大学キャンパスにおいて、建物の配置がキャンパス全体に均質的になりすぎると、様々な生活のための場が生まれないため、適度な不均質さを形成することも考慮する。ケース2-1の配置パターンはやや均質的であるため、ローカルな建蔽率を算出するエリアを広げることで配置パターンの自由度を高める。さらに、大学建物がキャンパス周辺の環境に圧迫感を与えないように配慮する。このときの個別配置ルールは表8ようになる。

上記の計画ポリシーに対して導かれた配置パターン(ケース2-2)を図8に示す。自然系エージェントと人文系エージェントがよく混ざり合った配置パターンになっており、中層・低層・高層の順に混在度が高く、高層に配置されるエージェントのほとんどが人文系エージェントとなっている。ケース2-1の結果と比較すると、建物の棟数が減少し、建物の平均規模が大きくなっていることがわかる。建物の規模が大きくなることでキャンパス内に不均質さが生まれて、複数のまとまったオープンスペースができたと考えら、計画ポリシーに合致した配置パターンであると言える。

## 5 配置計画手法としての有効性に関する考察

様々な配置パターンの検討を行うためには、あらかじめ行動ルールと実際のエージェントの振る舞いの大要を把握しておくことが必要である。本論の各ケースの結果は、行動ルールの設定の試行錯誤の末に導かれたが、そこで得られた変数の条件とパラメータの設定のテクニカル的な知見を以下に記す。

### (1) エージェントの集合数に関する条件

大規模なエージェントの集合が形成される過程では、まず小規模な集合が多数生成され、これを核として他のエージェントが取り込まれながら成長し、条件に適合する集合だけが淘汰されてさらに成長を続ける。エージェントが安定するための集合数の条件として大きな値を設定すると、核となる小規模の集合が発生しにくくなってしまう。エージェントの集合数に関するルールを与え、核となる小規模の集合の生成を調整することが重要となる。本論では、核の最小集合数条件を、「0」個から「4」個の5段階に調整することで、建物と見なすのに十分に多様な規模や形態の集合が発生することを確認した。また、それ以上に大きな値を設定すると、急激に核の生成および安定が困難になった。

### (2) 影響範囲

N1からN18(表4)の変数の制約条件を設定するには、同時に決定される影響範囲kの値との関係を考慮する必要がある。kの値が小さいとき、変数の変化量に対する配置パターンの変化は大きく、kの値が大きいく、同じ変数の変化量に対して配置パターンの変化は小さくなる。ローカルな建蔽率やゾーニングといった、広域に関する配置ルールを操作するためには、影響範囲kの値と相対的に変数の調整幅を大きくすることが必要となる。本論のシミュレーションでは、 $k=10$ のときの適切な変数の調整幅を「3」としている。

### (3) 初期状態

同じ配置ルールを用いた場合の配置パターンの再現性を確認することは、手法としての有効性を示す上で重要である。シミュレーションの準備段階の試行錯誤において、初期状態を発生させる乱数を変化させたときの配置パターンの傾向を検証した。収束過程では、核となる集合の数、大きさ、位置の異なるタイプの配置パターンが出現した。しかし、一度形成された集合が、まだ安定した状態に至っていないエージェントの影響を受けて再び分解され、新たな集合場所を探索を繰り返すことで、最終的には、建物の位置や形状にある程度のばらつきや違いがあるものの、おおよそ同様の傾向を示すと言える配置パターンが得られることを確認した。ただし、安定するまでのステップ数は、初期状態に依存して大きな差が出る結果となった。

### (4) 機動力

配置パターンの連続的な変化にとって、エージェントの機動力の設定は重要である。保存建物や構内道路の配置がエージェントの移動を拘束する方向に働くため、適度に大きな機動力が必要となる。しかし、機動力が大きすぎるとき、まだ条件を満たさずに移動するエージェントが、条件を満たして安定しているエージェントの集合を分解する頻度が高くなり、ステップごとの演算時間も飛躍的に増大する。効率的な配置パターンの探索にとって、適度に緩やかな変化の実現が不可欠であり、エージェントの適度な機動力は、まず自らの近傍において安定可能な位置を探索し、必要に応じて広域を探索することを意味する。本論では、構内道路の最も大きな幅員に基づいて機動力を「3」と設定している。

特定の配置ルールの変更が配置パターン及ぼす影響を厳密に記述することは難しいとはいえ、上記のようなテ

クニカル的な知見は、相制関係が満たすべき制約条件を設定する上で有用な情報である。

## 6 まとめ

本論では、初期段階において計画の明確な方向性を定めることが困難な問題に対する計画法に関する考察を行った。施設を構成する単位空間の相制関係をモデル化し、その相制関係の制約条件を調整しながら段階的に計画全体の目標を決定して、配置パターンを導く配置計画法を提案した。また、このような計画法に対して、マルチエージェントシステムを応用することの有効性を示した。この計画法では、計画者による調整は必ずエージェントの相制関係に関する条件に対して行われるため、獲得された配置プランは、部分において計画者の計画ポリシーを必ず満たすものとなる。また、最終的な配置プランは、計画者の知識や経験に基づいて総合的な視点からも評価されることで、部分の条件だけを満たす断片の寄せ集めではなく、部分と全体の秩序が計画者によってバランスよく調整された価値の高い情報となる。

「全体性を作り出す仕事は、都市がかたちを形成していくプロセスが根本的に変わった時、初めて可能になる文献<sup>1)</sup>」というC・アレグザンダーの言葉を引用すれば、マルチエージェントシステムと計画者の協調型プロセスによって、多様な価値観が存在する配置計画に対して、部分と全体のバランスの取れた配置プランを導くための一つの方法論を示すことができたと言える。

## 注釈

全体性(Wholeness):全体が部分を規定していくという「全体主義」的ニュアンスとは区別される。この概念は、ある実体が見れば全体であり、上から見れば部分であり、自己主張と統合がバランスを保っている状態をいう<sup>文献<sup>1)</sup></sup>。

## 参考文献

- 1) C・アレグザンダー他：まちづくりの新しい理論，鹿島出版会
- 2) C・アレグザンダー他：オレゴン大学の実験，鹿島出版会
- 3) 岩田伸一郎，宗本順三，吉田 哲，阪野明文：移動コストを評価関数とした室配置へのGA適用と発想支援 - 「An approach to the optimum layout of single-storey buildings」における病院手術棟を事例として - ，日本建築学会計画系論文集 NO.519 pp.341-347,1999.5
- 4) 岩田伸一郎，水沼靖昭，宗本順三：大学の組織構成要素のまとまりと要求面積充足度に基づいた既存校舎への室再配置計画、日本建築学会計画系論文集 NO.565 pp.167-173,2003.3
- 5) 谷本潤，藤井晴行：複雑系モデルに基づくアカデミック・ソサエティの盛衰予測に関する研究 大学における研究組織と効率に関する考察，日本建築学会計画系論文集 NO.559 pp.299-306,2002.9
- 6) 藤井晴行，谷本潤：社会システムとしての学術組織のエージェントに基づくシミュレーション，日本建築学会計画系論文集 NO.561 pp.189-196,2002.11
- 7) 藤岡正樹，石橋健一，梶秀樹，塚越功：津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価，日本建築学会計画系論文集 NO.562 pp.231-236,2002.12
- 8) 瀧澤重志，河村廣，谷明勲：適応的マルチエージェントシステムによる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.528 pp.267-275,2000.2
- 9) 松下大輔，宗本順三：対話型進化計算による形態構成規則の獲得モデル，日本建築学会計画系論文集 NO.560 pp.135-142,2002.10
- 10) 山影進，服部正太 編：コンピュータのなかの人工社会 - マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系 - ，共立出版