

IV-21

遺伝的アルゴリズムを用いた
駐車場配置の最適化

室蘭工業大学	学生員	音喜多 之宏
室蘭工業大学	正 員	田村 亨
室蘭工業大学	正 員	杉本 博之
苫小牧工業高等専門学校	正 員	梶谷 有三

1. はじめに

わが国における市街地は、自動車利用を前提として形成されていないため、既存駐車施設が少ないことに加え、土地利用上新たな駐車場整備も困難な状況にある。このことが、近年の急激なモータリゼーションの進展により、特に地方都市圏の商業地域において慢性的な駐車場不足を引き起こしている一因である。この都心部の駐車場不足と違法駐車問題に対して、近年、駐車場の採算制や路側利用の実態把握とその対策など、駐車場整備に関わる様々な研究が進んできている。これらの研究は都心部の活性化、あるいは混雑緩和の為の駐車場建設効果や駐車場案内システム導入効果、等である。

これらの対策の一つとして道路、公園、学校等の公有地・公的施設の地下に駐車場をつくることや、建物地下の既存駐車場間を地下自動車路で結び相互の有効利用を図るといった「地下空間の有効利用」が考えられている。この施策を実施する場合の要点は、目的地に近いところで駐車したいという利用者の要望をどれだけ満足させられるかという点である。この課題に関しては、街区をいくつか束ねた単位での駐車場整備計画の立案が必要となるが、従来の研究の多くは個人の駐車場選択に関するものであったり、統計区レベル等大きな地区の需要バランスの議論であり、駐車場整備計画立案で取り上げるべき大きさの地区を対象とした駐車場規模・配置をマクロに捕らえる方法論はまだ確立していない。

本研究は、地下駐車場を含めた駐車場配置最適化問題へのGAの適用を試みたものであり、ケーススタディをとおり厳密解法等との比較からGAの有効

性を検討することが目的である。

なお、GAはより複雑な離散型組合せ最適問題の解法に優れた方法とされ、最近わが国でも盛んに研究されてきているが、最適解探索の計算時間が短くて済む理由については、GAの挙動を知る手がかりを与える理論的研究があまり進んでいないのが現状である。このため、GAの先進研究として既存解法との比較を行う努力も行われているが、GAは動的計画法や分岐限定法とは異なり確率的近似解法であるため、同一条件下での手法の比較が難しく、まだなされていないのが現状である。これらの点から、GAの工学的利用法としては、計算時間が膨大なためこれまで分析されていなかった問題に対して取りあえずの近似解を求めておく、等のことが考えられる。その意味では、本研究で扱う分析対象がGAの能力を十分に生かしたものとは言えなく、GAの適用に関する基礎的研究と位置付けられる。

2. 遺伝的アルゴリズム

(1) 遺伝的アルゴリズムとは

遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm : 以下GAと略す) は、J. D. Bagley により1967年に初めて用いられた用語であり、J. H. Hollandによる1975年の理論的考察により広く知られるようになった。この手法は組合せ最適化の解法に優れているとされ、生物進化をダーウィンによる適者生存の過程と考え、現存する生物群を環境に対してより高い適合性を最適な生物とみなす。その上で、繁殖・淘汰、遺伝子の交叉、及び突然変異のプロセスを簡単なモデルに置き換えたものである。

Optimum Location Pattern of Parking Lot using the GA Method

by Yukihiro OTOKITA, Tohru TAMURA, Hiroyuki SUGIMOTO and Yuzo MASUYA

(2) GAの一般的枠組

GAの一般的なフローを図-1に示し、この各STEPについて説明する。

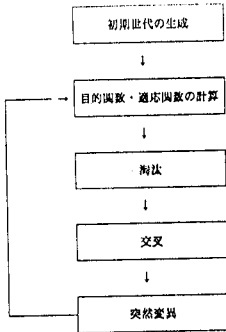


図-1 GAの基本的流れ

1) 初期化 (step 1)

ランダムな遺伝子をもつ m 個の個体からなる集団を設定する。

2) 選択 (selection: step 2)

各個体の適応度を計算し、集団の平均適応度を考慮に入れて、確率的な取捨選択を行なう。

3) 交叉 (crossover: step 3)

集団よりランダムにペアを選択し、決められた交叉方法及び交叉確率 P_c に従い、交叉を行う。新しい個体を N_c 個生成する。なお交叉方法は下記に列挙するとおりである。

- a) 1点交叉 (one point crossover) ;染色体上の1箇所でのみ交叉を行う。
- b) 多点交叉 (multipoints crossover) ;染色体上の複数箇所で交叉を行う。
- c) 一様交叉 (uniform crossover) ;マスクビットパターンに従い、どちらの親の遺伝子を継承するかを決定する。
- d) 混合交叉 (blended crossover) ;遺伝子が連続値を取る場合、両親の中間の値を子に継承させる。

4) 突然変異 (mutation: step 4)

各個体に対し、突然変異確率 P_m に従い、ランダムに選ばれた染色体の一部を他のものに置き換える。

突然変異の導入目的には、①ランダムサーチ的な役割を担う、②集団としての多様性を維持する、③初期収束を回避する役割を担うなどがある。また、交叉との間には、①相補的側面：交叉だけでは超平面から脱却できないとき、突然変異が有効に働くこ

とがある。②競合的側面：交叉で作られた優れた個体が突然変異によって破壊されてしまうことがある、などの両極端の性質を持つ。

3. 駐車場と都市計画 (新しい考え方)

従来のゾーン区分の概念は図-2に示すように、幹線道路によって囲まれた地区を計画単位と考えていた。しかし、公共駐車場等公共サイドで建設する施設の多くは、行政財産としての扱いを受ける関係で街路・公園下に設置されることが多い。特に本研究で対象とする地下駐車場の場合はその傾向が顕著である。本論文の趣旨でもある地下駐車場の配置を考えた場合、図-2のゾーン区分では建設場所の大部分が道路下の空間を利用するものであるため、そのゾーンには含まれないことになるすなわち、従来のゾーン区分では、地下駐車場の要素の組み込みが困難である。

そこで、本論文においてはゾーン区分を図-3のように設定することとした。すなわち、従来の区分ではなく、幹線道路を中心に商業や住宅施設等が張りつくと考えた。このことにより、配置される地下駐車場はゾーン内に含まれるため、それによる抵抗等の要素を容易に組込むことができる。

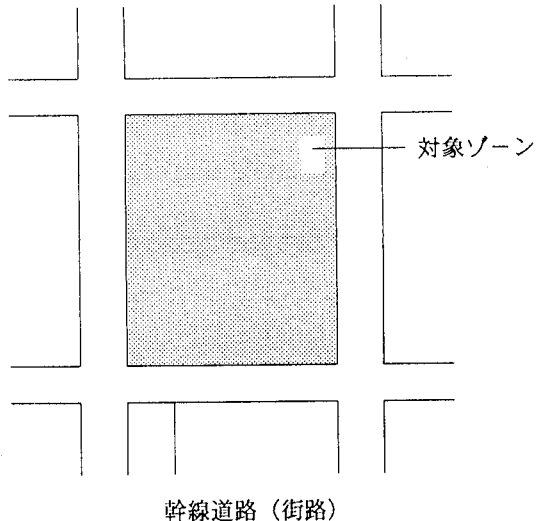


図-2 従来のゾーン区分

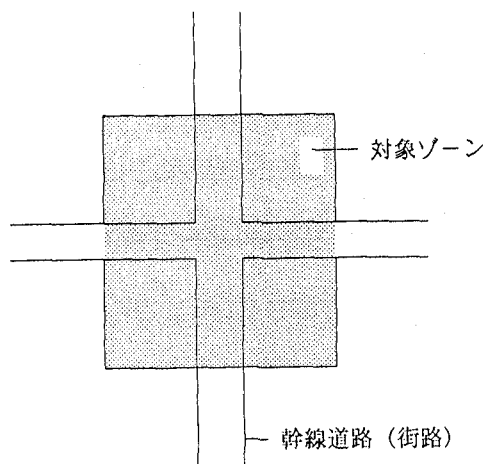


図-3 現在のゾーン区分

4. モデル構築

(1) 1次元的配置について

まず空間配置を考える前に対象ゾーンを直線的に並べた1次元的な問題としてモデル構築を行うこととした。

想定した問題は、対象ゾーン数16の区域に、容量制約のある駐車場を4個最適配置するものである。各ゾーンは、それぞれ(潜在的)駐車需要を持つものとし、各ゾーン間には距離及び抵抗値を与えた。ここで距離とは、当該ゾーンの中心間距離とし、抵抗値とは、地上と地下との駐車場に関する抵抗、あるいはそれらをも含めた目的地までのアクセスのしやすさに関する困難の度合いと考えた。

また、最適配置とは、後述する目的関数に示すとおり、距離や抵抗値との関係から、最も多くの人が利用する駐車場の配置と考えた。

以上の問題を解くにあたり、本研究で設定したG Aの各要素の説明を以下にまとめる。

(a) 設計変数の設定

線列については、空間上にゾーン番号をとり、4つの駐車場の設置ゾーン番号を線列として与えた。すなわち、線列は4つの箱(駐車場)とし、そこにゾーン1~16のいずれかが入っていくものと考えた。線列の長さは12(ビット)とし、1つの駐車場を4(ビット)単位で考え、乱数により発生させた2進数の線列を10進数に直した値をもってその駐車場を配置するゾーンとする。

例えば、乱数発生により [00000000010001000011] なる線列が与えられた場合の駐車場の配置ゾーンは

線列 : [00000 00001 00010 00011]

↓ ↓ ↓ ↓
10進数では: [1 2 3 4]

となり、4つの駐車場はそれぞれゾーン1、2、3、4に配置されることになる。

(b) 交叉方法、突然変異、計算打ち切り基準

交叉方法は一点交叉法 (one point crossover) を用い、交叉確率は0.60と0.75の2種類、突然変異確率は0.10とした。さらに計算の打ち切り基準は以下のように設定した。

①世代数が50を越えたとき

②最大目的関数の値が20世代更新されない場合

(c) 目的関数

ここでは多くの人に駐車場を利用してもらうという観点から以下の式を目的関数とし、この値が最大となるときのゾーンを最適解とする。¹⁾

$$O = \sum \frac{DEM(i)}{A(i, j) \cdot DIST(i, j)} \dots (1)$$

ここに、O : 目的関数

DEM(i) : ゾーンiの駐車需要(台/日)

A(i, j) : ゾーンi j間の抵抗値

DIST(i, j) : ゾーンi j間の距離(m)

(d) 計算結果

計算における条件は以下のように与えた。

- ・距離 : 20m (隣接ゾーン間)
1m (同じゾーン内)
- ・抵抗値 : 1.0 (同じゾーン内)
3.0 (隣接ゾーン間)
999.0 (その他のゾーン間)
- ・駐車需要(台/日)

表-1 各ゾーンの駐車需要

ゾーン	需要	ゾーン	需要	ゾーン	需要	ゾーン	需要
1	200	5	200	9	200	13	200
2	300	6	300	10	300	14	300
3	2000	7	2000	11	2000	15	2000
4	300	8	300	12	300	16	300

表-2 計算結果

①交叉確率75%

人口サイズ	設計変数	目的関数	最適世代/世代数	計算時間(秒)
10	11・7・15・3	803.529	8/33	7.2
30	15・7・11・3	803.529	14/50	16.2

②交叉確率60%

人口サイズ	設計変数	目的関数	最適世代/世代数	計算時間(秒)
10	11・7・15・3	803.529	25/50	10.8
30	15・7・11・3	803.529	8/50	16.2

モデル分析では、GAの妥当性を検討することを目的としているため、条件の距離、抵抗値及び駐車需要(表-1)をゾーン番号3、7、11及び15に駐車場が配置されるように極端なデータとして与えた。表-2はそのデータを用いたときの計算結果である。この中で駐車場の配置ゾーンは設計変数として示している。結果を見ると、GAの与件とした人口サイズ、交叉確率の値にもかかわらずどの場合も最適配置パターンが一致している。また、この計算では対象ゾーン数が16と比較的少ないこともあり計算時間は10~20秒と短時間で終了している。この結果を総当り法(1820通り)による厳密解と比較したところ、解が一致していることが分かり、GAの有効性が確認できた。

(2) 2次元的配置への拡張

(a) 駐車場設置ゾーンの需要

現実の駐車場最適配置を考える場合は、面的な空間の広がりとして取り扱わなければならない。ここでは、1次元問題を拡張し実問題に適用できるよう2次元化を試みる。

2次元化に際しては、GAの線列上での工夫はいらない。例えば8×8のゾーンを考えた場合、64ゾーンが1列に並んでいると考える。問題は、2次元問題として考えた場合に駐車場を配置したその当該ゾーンとさらに周辺ゾーンの需要をも考慮しなくてはならないことである。これについては、(2)式のDEM(i)の計算をGAアルゴリズムの外で行うことで対応することとした。具体的には以下の式をもって駐車場の配置されるゾーンの需要を新たに算定するものとした。²⁾

$$D_c = \alpha_1 D_1 + \sum_{m=2}^9 \frac{\alpha_m D_m}{8} \quad \dots (2)$$

ただし、 $\alpha_1 + \alpha_m = 1$

ここに、

D_c : 周辺ゾーンの影響を考慮した駐車場を配置したゾーンの駐車需要

m : 周辺ゾーンの番号

α_1 : 駐車場を配置したゾーンの重み

α_m : 周辺ゾーンの重み

D_1 : 駐車場を配置したゾーンの駐車需要

D_m : 周辺ゾーンの駐車需要

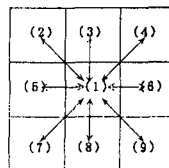


図-4 駐車場設置ゾーンの需要

今回の計算においては上式中の係数 α_1 、 α_m を文献2を参考にそれぞれ0.28, 0.12 設定した。

また、このモデルを構築する際に目的関数の中に抵抗値を設定した。ここでは「抵抗」を数値化することが重要な意味を持つが、これについては、1月下旬に札幌大通地下駐車場にてアンケート調査を行う予定であり、この結果をもとに設定することになっている。よって、現時点では空間的扱いの理論化のみであるが、実データによる分析結果は発表当日述べる。

(b) 需要計算における仮定

先の1次元配置における駐車場設置ゾーンの需要の計算は、図-5に示すように、「需要は駐車場が設置されたその当該ゾーンの需要」とそれに「隣接するゾーンの需要の3分の1」との和と仮定した。

しかし、実際2次元問題において、隣接したゾーンに駐車場が配置された場合は、需要計算の際にそのことを考慮しなくてはならない。本論文においては以上のことについて2種類のパターンに分け次のような仮定のもとに需要計算を行うこととした。

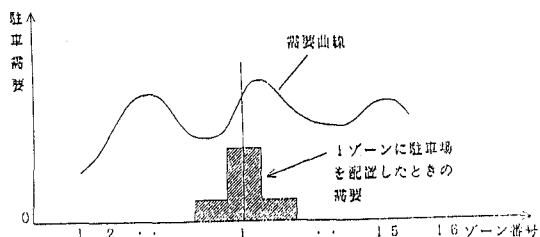


図-5 駐車場設置ゾーンの需要

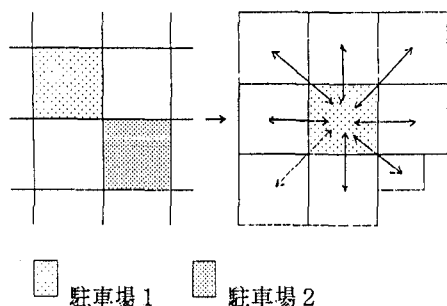


図-6

第1のパターンは、図-6のように隣接したゾーン2つに駐車場が設置された場合である。例えば、図-4の(1)と(9)のゾーンに駐車場を設置すると考える。この場合(1)に配置した駐車場の需要を求めるときには、(9)ゾーンが影響する需要、すなわち(2)式における $D_m = D_9$ の値は(9)ゾーンの実際の需要の4分の1を用いて(1)ゾーンの需要を算定することとした。

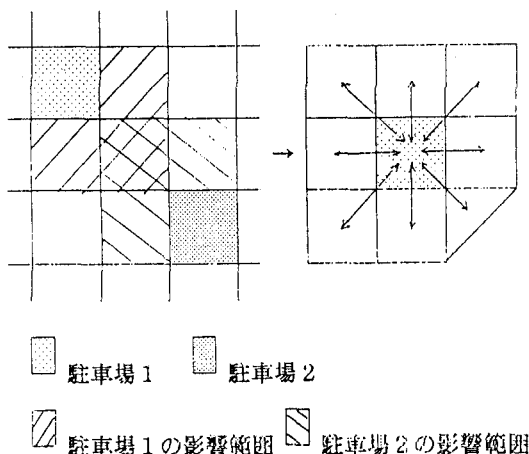


図-7

第2のパターンは、図-7のように、図-4に示す需要計算の影響範囲が設置された駐車場の位置によって重なる場合であり、この場合は、影響範囲が重なっているゾーンを2分し、それぞれの駐車場(図中の駐車場1と2)の需要計算にその値を代入することとした。

(c) 計算結果

2次元の配置問題における諸条件は、1次元のときと同様の値を用いた。また、各ゾーンの駐車需要は表-3のように設定した。

表-3 各ゾーンの駐車需要

(単位: 台/日)

ゾーン	需要	ゾーン	需要	ゾーン	需要	ゾーン	需要	ゾーン	需要
1	100	14	350	27	400	40	2000	53	100
2	150	15	300	28	450	41	500	54	100
3	200	16	350	29	500	42	450	55	100
4	250	17	400	30	2000	43	400	56	100
5	300	18	450	31	500	44	350	57	100
6	350	19	500	32	450	45	300	58	100
7	400	20	2000	33	400	46	250	59	100
8	450	21	500	34	350	47	200	60	100
9	500	22	450	35	300	48	150	61	100
10	2000	23	400	36	350	49	100	62	100
11	500	24	350	37	400	50	100	63	100
12	450	25	300	38	450	51	100	64	100
13	400	26	350	39	500	52	100		

表-4 計算結果

①交叉確率7.5%

ケース	人口サイズ	設計変数	目的関数	最適世代/世代数	計算時間(秒)
㉑	10	30・10・11・40	1820.01	43/50	14.4
㉒	30	10・40・30・20	2240.01	34/50	30.0
㉓	50	20・40・10・30	2240.01	14/19	20.4

②交叉確率6.0%

ケース	人口サイズ	設計変数	目的関数	最適世代/世代数	計算時間(秒)
㉑	10	21・10・11・30	1400.01	25/50	14.4
㉒	30	10・40・30・20	2240.01	20/50	29.4
㉓	50	20・40・10・30	2240.01	10/18	19.8

以上の2次元問題について考察を加える。ここで
の想定した問題は64の対象ゾーンに4つの駐車場を
最適配置することである。ここでも1次元問題と同
様に予め4つ（ゾーン番号10・20・30・40）のゾーン
に駐車場が配置されるように需要を与えている。表
-4はGAの分析結果である。これより、目的関数
が最大値を与えるケース②③⑤⑥についてみると需
要が多いところに駐車場が配置されていることが分
かり、妥当な解を与えていることが伺える。

また、この2次元問題の場合、組合せの総数は63
5376通りあり、すべての組合せの目的関数を計算し
厳密解を模索することは大変な作業である。このよ
うな場合には列挙法ではなくランダムサーチによっ
て比較するのが有効であるが今回は行っていない。
さらに、表に示しているように計算時間が20～30秒
で計算できるのもGAの特徴であるといえる。

以上のようにGAの妥当性については確認できた
が、モデルの構成に関しては、今後、以下の点を工
夫しなければならない。

- ①目的関数；式の意味から考えると（1）式で抵抗
値の重みと距離の重みが等しいとしている（例えば
距離の1mと抵抗値1.0 は同じ重み）が、実際はこれ
らの重みが等しいとは言えないことである。
- ②需要計算；駐車場の配置の位置関係に関して2種
類に分類し、それぞれについて駐車場設置ゾーンに
おける需要計算方法の仮定を設けたが、このことは
商業施設の立地形態やその他の諸条件により変化す
ることが予想される点である。
- ③さらに本論文では地下駐車場に着目しているが、
例えば地下街と直接接続されているとか地上への出
るまでのアクセスなどについても今後考慮しなくては
ならない。

5. おわりに

本研究は、GA手法を用いて、地下駐車場を含め
た駐車場の最適配置を行ったものである。GA手法
を用いることの長所は、組合せ最適化問題の近似解
を短時間で見つけれることであり、本研究上で、工
夫した点は以下の2点である。

- ①線列を駐車場の設置ゾーンとして、組合せ数を減
少させたこと。
- ②駐車場計画という空間配置問題（2次元問題）に

対してGAを適用すべく、ゾーン間距離変数の導入
などに工夫をしたこと。

これらの、本研究独自の工夫により、GAの解探
索をより効率的にできたと考えられる。

本来GAはより複雑な離散型組合せ最適問題の解
法に優れた方法であり、今回の分析対象はGAの能
力を十分に生かしたものとは言えない。この点につ
いては、より大規模な実際の配置計画適用へと発展
させることが必要である。また、先に示した、地下
駐車場特有の選択構造を内包したGAのシステム環
境構成を考えることも重要な課題であろう。

あくまでも私見ではあるが、GAはその解法上、
構造が明解な問題の解析的というより、粗い制約条
件のもとで取りあえず解を求めるような問題に適し
ていると思われる。この意味では、構造解析的な部
分はニューラルネットワーク等でサブシステムを作
っておき、最終的に全体をGAで解くようなシステ
ム構成も必要と考えられる。これらは全て、今後の
課題である。

〈参考文献〉

- 1) 奥貫圭一 「都市ヒエラルキーシステムの数理的
最適化」 東京大学大学院 都市工学専攻
1992年度 修士論文梗概集 pp19~pp24
- 2) 千葉博正 「都市内駐車場の立地と需要特性に関
する研究」 土木計画学研究・講演集
1985年 1月 土木学会 pp409~pp414
- 3) 北野宏明 「遺伝的アルゴリズム」 産業図書株
式会社 平成5年6月
- 4) 小林重信 「遺伝的アルゴリズムの現状と課題」
1993年 計測と制御 Vol.32 No.1
- 5) 岡部秀彦 「Genetic Algorithm」 1991年
日本ファジィ学会誌 Vol.13 No.4
- 6) 鬼柳雄一、徳永幸之、稲村肇 「整数2次計画法
による航空機材のスケジューリングモデル」
1992年 土木計画学講演集15

以上の研究を進めるにあたり、札幌市の猿田昭治
氏、(株)札幌都市開発公社の桜井貞夫氏、千田英子
氏には貴重なご指摘を頂いた。ここに名を記し感謝
の意を表します。