グラフ理論による大規模都市公園のゾーニング解析

Zoning Analysis of Large Scale Urban Parks by Graph Theory

坂口次郎* 鈴木雅和**

Jiro SAKAGUCHI Masakazu SUZUKI

摘要：本研究の目的は、大規模都市公園における空間構成を客観的に記述し比較検討するため、グラフ理論に基づいたグラフの計測示数により、空間構成を解析することにある。日本における15ヶ所の国営公園を対象とし、ゾーニングされた空間をグラフの頂点、それらを連結する主要な動線を辺としてグラフ化を試みた。またグラフの規模、連結度、分散度、関連数などのグラフ示数を計測し比較することにより、大規模都市公園における空間構成を類型化することができた。大規模都市公園におけるゾーニングは1段階だけの単純な構造ではなく、空間を複数回分割する階層的な構造があるなど、空間構成上の特徴が把握でき、本解析法の有効性が確認できた。

1. はじめに

日本における国営公園を中心とした大規模都市公園は、都市における人口集積に伴った大量かつ広域なレクリエーション需要、また多様なレクリエーション活動に対処することを目的として整備されている。しかし、数百ha規模の大規模都市公園は、整備事例も少なく、数千㎡の街区公園、数haの近隣公園、数十ha規模の総合公園などの都市公園に較べて、空間計画・設計手法の研究は進んでおらず、また、公園の空間計画において広く用いられているゾーニング手法は、大規模都市公園においても適用されているが、大規模ゆえにそれを客観的に記述することが難しく、比較研究もあまり行われていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大規模都市公園における空間構成を客観的に記述し比較検討するため、グラフ理論¹⁾に基づいたグラフの計測示数により空間構成を捉えることにある。グラフ理論については、これまで建築・都市空間に適用した例は見られるが^{4,5,6)}、公園空間において適用された事例は見あたらない。本研究は、大規模都市公園における空間構成を解読することによって、計画・設計におけるゾーニング手法の有効性と限界に関する知見を得ようとするものであり、本論文は、その基礎的方法論にあたる。

3. 大規模都市公園におけるゾーニング空間のグラフ化

(1) 大規模都市公園の立地環境

本研究では、大規模都市公園として15の国営公園を対象とした。表-1は、国営公園の立地環境の特性を概括的に捉えるため、地形、公園周辺の都市の規模とその距離について整理したものである。国営公園の立地タイプは丘陵型、湖畔型、平地型、海浜型、遺跡型に分類でき、多様な地形タイプを持った自然のポテンシャルが高い環境にあることがわかる。

(2) グラフ理論の適用

ゾーニングにより公園空間を捉えるに当たり、空間構成を客観的に記述するため、グラフ理論に基づいた空間構成のグラフ化を試みた。グラフ化は、グラフ理論の一般的な方法論を公園空間に援用し、以下のようなプロセスによって行った。基礎資料として、各国営公園のパンフレットに掲載されている基本計画平面図、及び基本計画の報告書に掲載されている平面図を用いた。

- 各国営公園においてゾーニングされた各ゾーンをグラフの頂点として●で表現する。
- 各ゾーンを連結する主要な園路をグラフの辺とする。
- グラフの辺は頂点を連結する直線で表示し、煩雑を避けるためそれらがなるべく交差しないよう考慮する。
- グラフの全体的な形の表現は、北を上方とし、各公園の計画平面図と形態的に乖離しないよう考慮する。

(3) ゾーニング空間の階層構造と特徴

当初、各国営公園パンフレットのゾーニング図に忠実にグラフ化を試みたが、公園によってゾーンの捉え方に空間スケールの相違があり、そのままでは空間の比較を行うことは適切でないことが分かった。「飛鳥」、「吉野ヶ里」を除いた全ての国営公園においては、ゾーニングは1回だけでなく、地区、エリア、ゾーン、施設といった名称で順次スケールを小さくしながら複数回、階層的に行われており、その最終段階においては、おおむね空間スケールが近似している。図-1は、ゾーニングを1～3段階の階層構造として表現したもので、以下の手順で作成した。

- 各公園ごとに地区、ゾーン、エリアなどのゾーニングの段階のグラフを集め、そのゾーニングの段階の上位から順に縦に並べて表示した。
- それらのグラフを公園面積の大きい順に左から並べた。
- ゾーニングの段階がない部分は、斜線を引いている。

「海中」は1段階で海浜、ピクニック、スポーツ、文化の4つのゾーンタイプに区分され、「みちのく」の1段階と同じ形態をしている。2段階では、1段階の文化のゾーンタイプがパークエリアとリゾートエリアの2地区、ピクニックのゾーンタイプが自然体験エリア、ヘルスケアエリア、リゾートタウンエリア、マリ

表-1 国営公園の立地環境マトリクス

立地タイプ	丘陵	湖畔	平地	河川	海浜	遺跡
立地環境タイプ	武蔵(11)		昭和(17)	木曾(6) 淀川(10)		
大都市群隣接						
大都市隣接	滝野(1)	みちのく(2) まんのう(1)			ひたち(1) 海中(2)	飛鳥(6*) 吉野ヶ里(2)
大都市遠隔	越後(0) あづみの(0) 備北(0)				沖縄(0)	

(*)は公園を中心として半径50km圏内の人口20万人以上の都市の数(93年3月現在)

大都市群隣接型・・・都市の数が4以上

大都市隣接型・・・都市の数が1～3

大都市遠隔型・・・都市の数が0

*奈良以外の都市は50km付近に集中しているため大都市隣接型とした

*住宅・都市整備公団 **筑波大学芸術学系

ンスポーツエリアの4地区に分割され、1段階より複雑になっている。3段階になると2段階の各エリアがさらに分割され、施設計画と呼ばれるスケールのレベルになっている。このグラフは細長の公園敷地の特徴を顕著に表す形態となっており、2段階のグラフより頂点数、辺数も大幅に増加し、さらに複雑化している。また、公園の南北にそれぞれ主要な出入口が設けられているが、それらの出入口部分がある公園における両端にゾーンが展開する空間構成になっていることが分かる。このように、全体的には面積が大きいほどゾーニングの段階が多く、面積が小さくなるほどゾーニングの段階が少ない傾向がある。また、第1段階のゾーニングは比較的単純なグラフで表わされ、ゾーニングの段階が進行するにつれてグラフの形態が複雑になる。

4. グラフ構造の計測

大規模都市公園の空間構造を客観的に捉えるため、作成したグラフについて、(1) グラフの全体的な構造を捉える指標群、(2) グラフの個々の要素を捉える指標群、の2群の指標により、グラフ計測示数の定義式を設定した。表-2にその内容を示す。

(1) グラフの全体的な構造を捉える指標群による分析と考察

(i) 構造計測示数の設定

a) グラフの規模

グラフの規模を表すものとして直径といわれる示数を取りあげた。直径とは、グラフのなかで互いに最も離れた2つの頂点の間にみられる辺の数である¹⁾。大規模都市公園の空間構成のグラフにおいては、グラフの規模とは公園の空間構成の複雑さ、ゾーンとゾーンとのトポロジーの距離を計測するものである。従って、面積の小さな公園でもある一定の性格を持ったゾーンの数が多ければグラフ理論の規模の概念においては大きくなる。すなわち、実際の公園面積に影響されることなく、空間構成の複雑さについて考察することができる。

b) グラフの連結度

グラフの連結度を表すものとして γ 示数を取りあげた。 γ 示数は、実際にみられるグラフの辺数の、想定される完全連結グラフの辺数に対する比率である¹⁾。大規模都市公園におけるグラフの連結度とは各ゾーンの全体的な関係性を計測するものであり、グ

ラフにおけるゾーン同士の関係性が高ければ数値は大きくなる。これは比率的な示数であるため、公園の面積によって、或いはグラフの規模によって影響されることなく、ゾーン間の関連性を比較することができる。

c) グラフの分散度

グラフの分散度、すなわちグラフ全体のばらつきを計測するものとして平均分散を取りあげた。大規模都市公園の空間構成のグラフにおいては、ある一定の性格を持ったゾーン配置の散らばり度を計測することになる。従って、平均分散値が大きくなれば全体的な空間の散らばり度が大きくなり、小さくなれば全体的な空間はまとまっているといえる。

(ii) グラフの計測示数による大規模都市公園の分類

これまで計測してきた示数を基に空間構造の特性を捉えるため、頂点数 n 、辺数 m 、直径 d 、 γ 示数、平均分散 D の5つのグラフの計測示数についてレーダチャート図を作成し、大規模都市公園の分類化を試みた。各公園のレーダチャートのなかから、特徴的な形態の公園を抽出した。大規模都市公園の空間構成のグラフにおいてはグラフの規模が大きくなれば連結度は低下し、一方分散度は高くなる傾向がみられた。すなわちグラフの規模が連結度、分散度に影響を与えていると考えられる。そのためグラフの規模を計測する直径に着目し、その最大(「海中」 $d=12$)、中間(「武蔵」 $d=6$)、最小(「飛鳥」 $d=2$)の値を持つ3公園を抽出し、図-2に示した(完全連結に関しては後述)。また各国営公園をサンプルとし、各公園におけるゾーニングの最終段階の頂点数 n 、辺数 m 、直径 d 、 γ 示数、平均分散 D の5項目によるクラスター分析を行った。すなわち、ゾーン数、ゾーンを連結する園路数、公園の全体的な空間の規模、連結度、分散度からみた大規模都市公園の空間構成に関する類型化である。そのデンドログラムを図-3に示す。但し、「淀川」、「あづみの」はグラフの直径と平均分散値が ∞ になるため、また「木曽」については他の公園と比較できるまで空間スケールを落とした空間構成のグラフ化が出来なかったため、それぞれサンプルから除外した。以下、グラフの全体的な構造の特徴に基づき、大規模都市公園のゾーニングによる全体的な空間構成に関して類型化を行った。

イ) 少空間高連結型(「吉野ヶ里」、「飛鳥」、「沖縄」)

	水曽三川公園(愛知県)	淀川河川公園(大阪府)	みちのく公園(宮城県)	海の中道海浜公園(福岡県)	越後丘陵公園(新潟県)	鬼野すずらん公園(北海道)	あづみの公園(長野県)	ひたち海浜公園(茨城県)
	6107ha	1577ha	647ha	539ha	399ha	396ha	353ha	350ha
1 段 階								
	$n=3$ $m=2$ $d=2$	$n=5$ $m=4$ $d=4$	$n=4$ $m=5$ $d=2$	$n=4$ $m=5$ $d=2$	$n=3$ $m=2$ $d=2$	$n=8$ $m=11$ $d=3$	$n=7$ $m=8$ $d=\infty$	$n=6$ $m=7$ $d=4$
	$\gamma \approx 0.67$ $D \approx 1.33$	$\gamma \approx 0.40$ $D \approx 2.00$	$\gamma \approx 0.83$ $D \approx 1.17$	$\gamma \approx 0.83$ $D \approx 1.17$	$\gamma \approx 0.67$ $D \approx 1.33$	$\gamma \approx 0.39$ $D \approx 1.75$	$\gamma \approx 0.38$ $D = \infty$	$\gamma \approx 0.47$ $D \approx 1.80$
2 段 階								
	$n=7$ $m=6$ $d=6$	$n=21$ $m=19$ $d=\infty$	$n=17$ $m=21$ $d=8$	$n=8$ $m=12$ $d=3$	$n=8$ $m=9$ $d=5$	$n=32$ $m=52$ $d=11$	$n=15$ $m=18$ $d=\infty$	$n=24$ $m=44$ $d=9$
	$\gamma \approx 0.29$ $D \approx 2.67$	$\gamma \approx 0.05$ $D = \infty$	$\gamma \approx 0.15$ $D \approx 3.55$	$\gamma \approx 0.43$ $D \approx 1.71$	$\gamma \approx 0.32$ $D \approx 2.25$	$\gamma \approx 0.10$ $D \approx 4.18$	$\gamma \approx 0.17$ $D = \infty$	$\gamma \approx 0.16$ $D \approx 3.55$
3 段 階								
	$n=12$ $m=14$ $d=7$	$n=35$ $m=33$ $d=\infty$		$n=29$ $m=56$ $d=12$	$n=21$ $m=32$ $d=5$			
	$\gamma \approx 0.21$ $D \approx 3.00$	$\gamma \approx 0.03$ $D = \infty$		$\gamma \approx 0.14$ $D \approx 4.60$	$\gamma \approx 0.15$ $D \approx 2.77$			

図-1 国営公園のグラフのマトリクス

小面積のためゾーニングは1段階にとどまっており、そのためほかの公園と比べてゾーンの数が少なく(4,7)、連結度が高い(0.33,0.67)。比較的単純なゾーニングタイプである。

ロ) 中間型(「まんのう」、「武蔵」、「みちのく」、「昭和」、「越後」、「備北」、「常陸」)

少空間高連結型と多空間低連結型の中間型で、国営公園の中の7つがこの型に入る。ゾーンの数 n 、ゾーニング空間の連結度共にイ)とハ)の中間である。但し、クラスター分析でもわかるように、ロ)全体がイ)よりハ)の類型に近づいた形となっている。これらは大規模な敷地をゾーニングによって多くの空間に分割しており、イ)に比べてゾーニングの段階が進行している公園タイプである。

ハ) 多空間低連結型(「海中」、「滝野」)

大規模な敷地をゾーニングによって多くの空間に分割している。イ)、ロ)に比べて多くのゾーンを持ち(29,32)、それらの連結度も低い(γ 示数0.10,0.14)。ゾーニングによって空間を多層的に分割した公園タイプである。

ニ) 分散型(「木曾」、「淀川」、「あづみの」)

「木曾」については他の公園と比較できるまで空間スケールを落とした空間構成のグラフ化はできなかったが、立地を考慮して「淀川」と同じ類型とした。すなわち、「木曾」、「淀川」とも河川によって大きく敷地が2つに分割された河川沿いの公園である。また、「あづみの」は河川公園ではないが、敷地が大きく2つに分かれており(2地区の距離が約15km)、これらの3公園はいずれもグラフ理論のトポロジーの概念ではグラフの直径、分散度共に ∞ となり、これは空間が大きく分断されていることを表わしている。そのため、ここではこれらの3公園を分類上独立させた。但し、「沖縄」も正確には海洋博地区と首里城地区に分かれているが、それぞれの地区の性格が独立しており、「あづみの」のように両地区を一体として整備されたものではない。従って、「あづみの」と「沖縄」とは空間デザイン方法が異なるものと判断し、両者を区別している。

(2) グラフの個々の要素を捉える指標群による分析と考察

(i) 個々の要素計測示数の設定

a) 関連数

これまでグラフの全体的な構造に関する考察を行ってきたが、ここではグラフにおける個々の要素に注目する。グラフにおける

個々の要素の計測示数として関連数を設定した。関連数は、頂点の持つ最遠頂点までの最短パスによるトポロジーの距離のことである¹⁾。この関連数という視点に立つと、大規模都市公園のグラフにおいて、端にあるゾーンほど値が大きく、小さな値を持つゾーンは公園の中で中心的な位置を占めているといえる。

全体的にはゾーニングの段階が進行するにつれて各頂点の関連数が増加し、また、3段階のグラフにおいて、公園の特徴となるゾーンタイプの関連数が低い位置となっている公園があることなどがわかった。このことについては以下に述べる。

(ii) 計画意図とゾーニング手法

大規模都市公園の計画にあたっては、その敷地がもつ立地のポテンシャルをいかに引出していくかが課題の一つといえる。「海中」、「常陸」の2公園は海浜地に立地する公園であり、大規模都市公園のなかでも地形的に特徴を持った公園である。しかしこれらの海浜・海水浴場ゾーンの関連数は、図-4に示すように「海中」では8,9,11,12であり、特に海水浴場として計画されている海浜・海水浴場4の値は11と全体における位置は低い。また、「常陸」では8であり、「常陸」における関連数の最大が9であることを考えるとこれも位置が低いといえる。同様のことが「備北」の農場、「常陸」の砂丘、「滝野」の谷間広場、「まんのう」の水辺広場、についていえる。一方、関連数の少ないゾーンとしては芝生広場(「武蔵」、「常陸」、「滝野」、「まんのう」)、入口広場(「武蔵」、「常陸」、「海中」、「まんのう」、「あづみの」)などを挙げることができるが、これらのゾーンは各公園の特徴を強く表わすものではない。このことはゾーニングの段階を進行させることによって公園の持つ土地のポテンシャルを細分化し、その結果、それぞれの空間の関連度を低下させ、公園の特徴が生かしくくなっていることを示している。

つまり、大規模都市公園における過度のゾーニング分割は、公園の大規模特性、地域特性を生かすものではなく、むしろ逆にそれらを小さな空間に限定し、計画のコンセプトを見えにくくしている可能性がある。もっとも、公園という場所においては、どのゾーンにもすぐ行ける機能的なネットワークだけが必要とは限らない。また、実際には大規模都市公園のゾーンのなかには、利用型のゾーンだけではなく、例えばバードサンクチュアリ等の保護

讃岐まんのう公園(香川県)	備北丘陵公園(広島県)	武蔵丘陵森林公園(埼玉県)	昭和記念公園(東京都)	沖縄記念公園(沖縄県)	吉野ヶ里歴史公園(佐賀県)	飛鳥歴史公園(奈良県)	完全連結グラフ
350ha	327ha	304ha	180ha	77ha(海洋博地区)	54ha	47ha

$n=8$ $m=13$ $d=3$	$n=10$ $m=15$ $d=5$	$n=3$ $m=2$ $d=2$	$n=5$ $m=4$ $d=4$	$n=3$ $m=2$ $d=2$	$n=4$ $m=4$ $d=2$	$n=4$ $m=4$ $d=2$	$n=4$ $m=6$ $d=1$
$\gamma \approx 0.46$ $D \approx 1.63$	$\gamma \approx 0.33$ $D \approx 2.17$	$\gamma \approx 0.67$ $D \approx 1.33$	$\gamma \approx 0.40$ $D \approx 2.00$	$\gamma \approx 0.67$ $D \approx 1.33$	$\gamma \approx 0.67$ $D \approx 1.33$	$\gamma \approx 0.67$ $D \approx 1.33$	$\gamma = 1.00$ $D = 1.00$

表-2 グラフ計測示数の定義式

	示数名	定義式
基本要素	頂点数	n
	辺数	m
規模	直径	$d = \max e[i,j]$
連結度	γ 示数	$\gamma = m/[n(n-1)/2]$
分散度	平均分散	$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} / n(n-1)$
各頂点の地位	関連数	各頂点における $\max e[i,j]$

$e[i,j]$ は頂点 i と j との最短パスの辺数
 $d[i,j]$ は頂点 i,j 間の辺数

図-2 レーダーチャート図

図-3 デンドログラム

や保全を中心としたゾーンのように公園における全体的な空間の位置を考えるとむしろ端にあるほうが効果的なゾーンもある。今後グラフを応用することによって公園の各ゾーンを利用型、保全型という前提とし、利用型ゾーン相互のつながり、保全型ゾーン相互のつながり、また利用型、保全型相互のつながりについて把握することが可能である。

iii) ゾーニング手法の有効性と限界

図-2は、レーダーチャートに完全連結グラフの計測示数を重ねたものである。完全連結グラフの形態は、ほかの国営公園の形態とは大きく異なっていることがわかる。そのなかでも「飛鳥」、「吉野ヶ里」は比較的近い形態をしているが、これらの面積はそれぞれ47ha,54haであり、一般的には300haを超えるものとされている国営公園においては特殊な例といえる。先に述べたように、「武蔵」は中間型、「海中」は多空間低連結型であり、これらはゾーニングによる空間の分割度の進行状態によって分類されたものであった。従って、ゾーニングの進行によってレーダーチャートの形態も距離d、分散度Dの値が増加し、γ示数が低下するに従って、少空間高連結型→中間型→多空間低連結型へと変形するように、完全連結グラフの形態から離れていくのがわかる。そしてこれは、大規模な公園に対しても従来のゾーニング手法を用いる場合に起こりうる特徴的な現象であり、「小公園の寄り集まり」としての大規模都市公園といった、ゾーニング手法の限界を示唆しているものといえる。

5. 結論と今後の課題

(1) 大規模都市公園の空間構成を捉えるにあたり、公園の空間構成のグラフ化を行い、グラフの計測示数を適用することによって空間全体の構造を比較分析することができる。

参考文献

- 1) 奥野隆史ほか(1976): 点と線の世界ネットワーク分析: 三共出版, 1-69
- 2) 小池孝幸(1993): 大規模都市公園におけるデザイン手法に関する研究: 日本デザイン学会 ED プレス No.15, 6-7
- 3) 佐藤昌(1969): 地域公園の必要性和その管理: 公園緑地 VOL.29, NO.2, 3-6
- 4) 高木幹朗(1991): グラフ・ネットワーク指数の検討とその適用による地下街路構成の分析: 日本建築学会計画系論文報告集第422号, 37-44
- 5) 山中知彦ほか(1983): 計画学におけるグラフ理論適用に関する研究その2応用編: 日本建築学会論文報告集, 62-69
- 6) 渡辺健一ほか(1983): 計画学におけるグラフ理論適用に関する研究その1原理編: 日本建築学会論文報告集, 117-126

Summary: The purpose of this study is to analyze the spatial structure of large urban parks applying Graph theory, and to consider the efficacy of Zoning method on planning and design of parks. We drew the graphs of the spatial structure of each 15 National Government Parks in Japan, consisting some vertexes as spaces designed by Zoning method and some edges as main paths between them. And we characterized these structures by defining Scale, Connection, Dispersion as the indexes of the total structures of the graphs, and Relation as the index of the hierarchy of each elements of the graphs.

The results of this study are as follows;(1) Graph theory is an effective method on analyzing spatial structure of large urban parks. (2) We can find the characteristics of parks by comparing the Graph indexes. (3) Zoning of the parks have hierarchical structure and the planning by Zoning method tends to make the spatial structure to be complicated.

図-4 「海中」3段階の関連数

(2) グラフ理論におけるネットワーク示数により、クラスター分析を行い、レーダーチャート図とともに読みとることによって大規模都市公園を類型化できる。

(3) 大規模都市公園におけるゾーニングは1段階だけの単純な構造ではなく、空間を複数回分割する階層的な構造があり、面積の大きい公園ほどその階層が多くなる傾向がある。またゾーニングの段階が進行するほど公園内の空間相互の距離は遠くなり、連結度は低下し、分散度は高まり、全体的に複雑化傾向がある。

今後の課題として、グラフ理論・グラフの計測示数を大規模都市公園だけでなくテーマパーク等ほかの公園に適用し比較していくことによって、空間デザインの特性について明らかにしていきたい。またグラフの計測示数を適用するだけでなく頂点を連結する辺の主動線、副動線によるランク分けなど、さらに詳しく大規模都市公園の空間構成を解読するために応用していく必要がある。