研究論文

日本庭園における庭木と庭石の構成特性 ならびにその応用による庭園の自動設計

千葉 喬 三*

林 俊 克**

Compositional Characteristics of Woody Plants and
Rocks Used in Japanese Gardens and an Application
of Them to the Computer Aided Garden Design System

Kyozo CHIBA, Toshikatsu HAYASHI

摘要：日本庭園における庭木と庭石の構成上の特性を検討するため、評価の高い庭園の実測平面図からそれぞれの構成に関する変量を抽出し種々の多変量解析を行った。その結果、いくつかの構成に関する普遍的で定量的な新しい規則性を見出すことができた。さらに、その結果をもとにして、パーソナル・コンピュータを用いた庭園の自動設計を試みた。

はじめに

日本の庭園の特徴は、歴史的に種々の様式の変遷を経ながらも、基本的には自然風景式庭園として意匠され、また管理されてきたことであろう。しかし、日本庭園は全くの自然のコピーとして造営されてきたものではない。そこには、自然の景観をモチーフとし、樹木や岩石などの自然素材を用いながらも、当然文化的背景や作庭者の思想や主張の展開が意匠として織り込まれている。その結果、作庭の内容が、縮景や借景による自然景観の象徴化から宗教的世界観の象徴化、さらには認識の抽象化まで昇華したとしても不思議ではない。

このような庭園の発達過程の中で、自然景観の構成素材であった樹木や岩石は、象徴性ないしは抽象性の効果的な強調のために、それぞれ庭木や庭石として特別の意味づけがなされたり、その選択や配置に関して特有の手法や約束事が発生し伝統化してきた。このことは、日本庭園の評価や研究にあたって、必然的に庭園の個別的、部分的な検討を要求し、またそれによって幾多の優れた成果が挙げられてきた⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁷⁾¹⁷⁾²⁰⁾。

しかし、日本庭園がこのような象徴性や抽象性を備えるとしてもそれは副次的な属性とみなすべきであり、日本庭園造営の本来の主眼は、その自然風景様式の高い風

致性の発現にあると考えるべきであろう。従って、樹木や石の選択と配置は象徴性や抽象性を演出はするが、この基本的な規範を逸脱することはないと考えてよいであろう。すくなくとも、永い間多くの観賞者の批評に耐えて高い評価の定着した庭園群あっては、このことは共通して認められる特性といえるであろう。

高い風致性という普遍性の存在は、それを支配する共通の要因の存在を示唆している。もし、それを抽出できれば、これまで行われてきたような、主として個別的部分的な研究から得られた成果とは全く違った観点から日本庭園の特質の一端を窺い知ることできるであろう。

筆者²⁾³⁾らは、先にこのような視点から日本庭園における庭石の分布特性と庭木の配植についての定量的な特性の抽出を試み、それぞれが少数の共通的要因によって支配されていることを示した。そこで本論文では、この問題についてさらに詳細な検討を加えるため、まず主要構成要素の庭石と庭木の両方を同時に対象とした場合の潜在的な支配要因の存在についての検討を行うこと、もしそのような要因が抽出出来た際には、さらにそれに基づくコンピュータによる庭園の自動設計の可能性についても併せて試みることを目的とした。

資料および方法

* 岡山大学農学部造園学研究室

** 株式会社中央研究所

この研究の基礎となるのは、評価の高いいわゆる名園とされる庭園群における庭石の分布と庭木の配植である。ところが、今日これらの庭園においてこのような項目について実測を行なうことは多くの場合困難である。また、対象としている問題の性質上、相当数の事例が必要であることを考えると、実測によるデータの収集は事実上不可能である。そこで、この研究を進めるにあたっては実測図を資料として用いることとした。当然のことながら、実測図といえども実測と比較すれば不完全さはあるが、次善の手段としては許容されるであろう。

資料としたのは、重森三玲監修¹⁸⁾「実測図 日本の名庭」および、同¹⁹⁾「続 実測図 日本の名庭」である。これらに収録されている平面図のうち、庭園境界が明瞭で庭木と庭石について投影面積、個体数、樹種などのデータが判読可能な庭園平面図を用いた。研究対象として採用したのは、表1に示した22の庭園群であった。

平面図から得られる庭石と庭木に関する以下の15の変数を設定し、それぞれの値を各庭の平面図から計測した。

1. 変数番号1 庭木の総投影面積
2. 変数番号2 ツツジ・サツキの投影面積
3. 変数番号3 庭木の総本数
4. 変数番号4 庭木の種数
5. 変数番号5 庭木の平均投影面積
6. 変数番号6 庭木の投影面積の標準偏差
7. 変数番号7 各樹種の本数の標準偏差
8. 変数番号8 庭木の被度
9. 変数番号9 ツツジ・サツキの被度
10. 変数番号10 庭木の密度
11. 変数番号11 庭石の総投影面積
12. 変数番号12 庭石の個数
13. 変数番号13 庭石の平均投影面積
14. 変数番号14 庭石の投影面積の標準偏差
15. 変数番号15 庭石の被度

なお、得られた数値は、変数ごとに、平均0、分散1に基準化して用いた。

種々の多変量解析は岡山大学総合情報処理センターのACOSシステム1000/20により、またシミュレーションはNECパーソナル・コンピュータPC-9801F2を使用した。

結果および考察

1. 庭木と庭石の構成からみた庭園構造の数量的解析

表1に示した22の庭園サンプルの庭木と庭石に関する15変数の相関係数マトリックス作成し、それに基づいて因子分析¹⁶⁾を行なった。因子抽出の基準を、ここでは累積寄与率95%を基準とし、第7因子までの累積寄与率が96%となったのでここで抽出を打ち切った。得られた結

表1 庭木及び庭石の特性抽出に用いたサンプル庭園

サンプル番号	庭	園	名	所在地
1	芬	陀	院	京都
2	龍	源	院	京都
3	大	仙	院	京都
4	靈	雲	院	京都
5	汲	月	亭	滋賀
6	蓮	華	院	滋賀
7	養	寿	寺	大阪
8	観	持	院	京都
9	圓	乗	院	滋賀
10	中	山	寺	兵庫
11	西	教	寺	滋賀
12	雑	華	院	京都
13	祥	雲	寺	大阪
14	久	門	氏	愛媛
15	居	初	氏	滋賀
16	南	禅	寺	京都
17	是	心	院	島根
18	相	國	寺	京都
19	當	麻	寺	奈良
20	極	楽	寺	滋賀
21	春	光	院	京都
22	円	通	寺	京都

果は表2に示した。同表からわかるとおり、各変数の共通性は大変高く、分析は妥当であったといえる。各因子ごとに、因子負荷量によってその内容を検討すると以下のとおりであった。

第1因子は

変数番号6：庭木の平均投影面積

変数番号7：庭木の投影面積の標準偏差

変数番号2：庭木の総投影面積

の3変数が高い相関を示し、植栽の量的因子軸とみなすことができた。

第2因子は

変数番号8：樹種ごとの本数の標準偏差

変数番号11：ツツジ・サツキの被度

変数番号3：ツツジ・サツキの投影面積

の3変数が高い相関をもっており、樹種の偏用性に関する因子軸とみなすことができた。

第3因子は

変数番号15：庭石の投影面積の標準偏差

変数番号16：庭石の平均投影面積

の2変数が高い相関を示したので、庭石の量的変化性の因子軸とみなすことができた。

第4因子は

変数番号14：庭石の個数

のみと高い相関を示した。さらに、負荷量は少し小さい

表2 選択された15変数によるサンプル庭園の因子分析結果

変数番号	因			子
	1	2	3	4
1	-0.90904	-0.40021D-01	-0.32594D-01	-0.28907D-01
2	-0.33004	-0.79791	-0.12741	-0.87716D-01
3	-0.14245	-0.32999	0.91627D-02	-0.14731
4	-0.25811	-0.58568D-01	0.59653D-01	-0.13652D-01
5	-0.97983	0.59860D-01	-0.60350D-02	-0.32353D-01
6	-0.97360	-0.18536D-01	0.32884D-01	-0.66185D-01
7	0.70972D-01	-0.92597	-0.60977D-01	-0.13353
8	-0.65076	-0.40610	0.20728	0.13710
9	0.11202	-0.83823	0.73518D-01	0.34423
10	0.18311	-0.19733	0.23609	0.10407
11	-0.27687	-0.49449D-01	-0.20348	-0.66399
12	0.28198D-01	0.37159D-01	0.33827	-0.89410
13	0.22299D-01	0.55725D-02	-0.97808	0.11648
14	0.29365D-01	-0.76657D-01	-0.98242	0.73968D-01
15	0.23670	0.42312D-01	0.44428D-01	-0.31945
累積寄与率	0.320227	0.511253	0.674854	0.800702

変数番号	因			共通性
	5	6	7	
1	0.30096	0.22307D-01	0.13625	0.93984909
2	0.34721	0.52345D-01	0.66772D-01	0.89726562
3	0.83714	-0.23003	0.22992	0.95754649
4	0.94222	-0.39925D-01	0.77958D-01	0.96925109
5	0.94264D-01	0.13417	0.43528D-01	0.99350575
6	0.49892D-01	0.86796D-01	0.68196D-01	0.96837459
7	0.17912	-0.15188	0.16850	0.96755038
8	0.32063	-0.42915	-0.32236D-01	0.93817518
9	-0.12059	-0.19756	-0.24299	0.95170041
10	0.14805	-0.90221	0.29503D-01	0.97581699
11	0.49187	0.88456D-01	-0.38298	0.95782666
12	0.11234D-01	0.80426D-01	-0.17126	0.95194921
13	-0.41805D-01	0.10327	0.45098D-01	0.98518805
14	0.82189D-02	0.13427	-0.21055D-01	0.99589439
15	-0.24329	0.21087D-01	-0.85500	0.95249438
累積寄与率	0.888539	0.934645	0.960159	

が(0・66),庭石の総投影面積とも関係が認められることから,庭石の量的因子と考えた。

第5因子は

変数番号5:庭木の種数

変数番号4:庭木の本数

の2変数と高い相関があり,庭木の多様性を表わす因子軸とみなすことができた。

第6因子は

変数番号12:庭木の密度

のみと高い相関を示した。これを庭園に適用した場合は

ある種の疎開度を表わすと考えられるので,庭木の開放性因子軸とみなした。

第7因子は

変数番号17:庭石の被度

のみと高い相関を示した。この変数は,庭石底面積の庭面積に対する比なので,庭石の量的バランス性を表わす因子軸とみなした。

このように,評価の高い名庭とされる日本庭園においては,基本的な構成要素である庭木と庭石の利用については,それぞれが様式の違いをこえて共通する少数の因

表3 サンプル庭園の因子得点と庭園面積の数量化Ⅰ類による分析結果

アイテム	カテゴリー	係数	重み付き平均からの偏差	重み付き平均	レンジ
第1因子	1	840.872	855.166		
	2	296.273	310.567		
	3	-38.1960	-23.9020		
	4	-249.584	-235.290		
				-14.2940	1090.46
第2因子	1	0.	-259.895		
	2	322.495	62.5995		
	3	359.477	99.5815		
	4	240.002	-19.8931		
	5	157.399	-102.496		
				259.895	359.477
第3因子	1	0.	264.735		
	2	-189.498	75.2375		
	3	-259.750	4.98536		
	4	-387.233	-122.498		
				-264.735	387.233
第4因子	1	0.	-409.452		
	2	455.934	46.4819		
	3	475.383	65.9311		
	4	345.582	-63.8708		
	5	376.340	-33.1123		
				409.452	475.383
重相関係数 0.9933		寄与率 0.9866			

子によって制御されていることが示された。その際、これらの因子は庭木に関係する因子群（第1因子、第2因子、第5因子、第6因子）と、庭石に関係する因子群（第3因子、第4因子、第7因子）とに明瞭に分離されることがわかった。これは、一つの庭においても庭石と庭木はそれぞれ固有の要因によって構成されていることを示唆している。そして、それらの諸因子はいずれもが庭園の意匠や観賞に際して一般的に考慮される、基本的な内容であった。

2. 庭園構成に関与する因子と庭園面積の関係

前項において、日本庭園に存在する庭石と庭木の量的な特性値を因子分析することによって、庭木と庭石の構成を支配する潜在的な因子群を抽出することができた。因子の抽出が可能であれば、各因子に対する各サンプルの因子得点を求めることができる。そこで、この因子得点を基にしてサンプルである各庭園の特性の解析を行った。

(1) 因子得点による庭園面積の回帰

因子得点によるサンプル解析としては、たとえば、因子軸空間における各サンプルの分布やそれによる類型化などを行なうことができるが、ここでは新しい試みとし

て、外的基準との関係について検討を加えた。外的基準としては、庭園面積をとりあげた。いいかえれば、因子群を独立変数として、庭園面積を回帰するわけであり、これは各因子の得点パターンが庭園面積を規定する、という仮説をたてたことになる。解析のためのサンプルとしては、表1に掲げた22庭園群を用い、因子は、先の分析で得られた因子のうち、その累積寄与率と計算のアルゴリズムを考慮して上位の4因子とした。因子得点は、各変数ごとに平均0、分散1に基準化して算出するので独立変数値として得点そのものをあてることができるとは実際にはあまり意味がない。そこで、もっと実感にちかい尺度、すなわち、それが大きいのか、小さいのか、普通なのかなどのカテゴリーに区分することとした。ここでは、カテゴリー数を5とし、サンプルの標準偏差 σ を基準として、 1.5σ 以上のサンプルには5、 $1.5\sigma-0.5\sigma$ には4、 $0.5\sigma-0.5\sigma$ には3、 $-0.5\sigma-1.5\sigma$ には2、 -1.5σ 以下には1を与えた。

このように独立変数をカテゴリカル・データとすると通常の重回帰分析は使えないので、同等の手法である数量化理論1類²⁾を利用して分析を行なった。分析の結果は表3に示した。

ここでは、重回帰分析として行なったので、因子群に

図一 第1因子のカテゴリと係数値

図一 3 第3因子のカテゴリと係数値

図一 2 第2因子のカテゴリと係数値

図一 4 第4因子のカテゴリと係数値

よって庭園面積が規定される形態をとるが、実際には多くの場合、先に庭園面積（規模）が決定されており、それについて風致性を具備するよう材料が配置されると考えてよい。しかし、表3に示したように、分析の結果得られた重相関係数は0.99と非常に高く、庭園の規模とその内部構成とは明確な関連性が存在することが判明した。このことは前提とした「評価の高い庭園」という条件をも考え合わせると、高い風致性の発現には構成要素の状況によって決まるある特定の面積規模が存在することを示唆するものといえよう。

(2) 庭園面積に与える各因子の影響

前項において、構成要因と面積規模の間にはある一定の関連があることが示唆された。そこで、取り上げた因子群のそれぞれは面積決定にあたってどのような影響をもっているのかを検討した。

表3に示されているレンジからわかるとおり、要因としての影響力は、第1因子（植栽の量的規模）が大きく、次いで第4因子（庭石の量的規模）、第3（庭石の変化性）、第2因子（樹種の偏用性）の順であった。また、因子ごとにその変化域が異なり、第一因子は係数が

正負両域にまたがり庭園面積の拡大と縮小の両方に、第2と第4因子は正の値のみを取り面積を拡大する要因として働くのに対して、第3因子は負の値しかとらず面積の縮小要因として存在することがわかった。ここで、それぞれの因子の庭園面積に対する影響の内容を更に詳しくみるために、因子別に各カテゴリの係数をグラフ化したものが図1～図4である。第1因子は、高い因子負荷量は負数なので因子得点の小さいほど規模は大きく、図1にみられるように、カテゴリ1が最も大きく順次小さくなる性質をもっている。全体としての庭木の量や植栽木の大小と面積規模の比例性を主張するものと考えられる。第2因子は、全体としては面積拡大の要因として働くが、図2にみられるとおり、樹種の極端な偏用や均等使用がある場合は面積の縮小が必要となることを表わしている。第3因子は、全体として面積縮小の方向に働くが、図3にみられるように、カテゴリ1から順にその傾向が大きくなる。これは、大きさの上で小型で同じ程度の石の場合は面積が狭く、逆に変化に富んだ庭石の使用は広い庭園面積が要求されることを示している。第4因子は全体としては面積拡大の要因として働く。この

因子には庭石の個数と総投影面積が高い負の因子負荷量をもっているの、因子得点の小さなカテゴリー1が量的に最大であり、図4にみられるとおり極端な庭石の多用はかえって庭面積の縮小を要求することがわかった。

以上みてきたように、それぞれの庭園は因子得点分布に特性をもっている。このことを利用して庭園群を分類することもできるが、単なる分類ではなく庭園面積という特性と関連づけることによって、風致性発現に関する条件の検討をすることができた。このことは、これまで経験を積み重ねた専門家によってはじめて可能と考えられてきた庭園の意匠を一般にも理解させるための一つの糸口を与えるものといえよう。

3. 日本庭園における庭木の質的構造の解析

これまで日本庭園を構成する庭木と庭石に関する量的な特性について検討を加えてきた。しかし、日本庭園の風致性発現に関しては、このような量的側面だけでなく質的な特性も関与しているはずである。そこでこの問題についても多少の検討を加えた。サンプルとしては、表4に示した53の庭園群を用いた。ところで、ここで取り扱っているデータのうち、庭石については資料の関係から残念ながら2次元の投影面積しかないので質的な問題を取り扱うことができない。そこで、質的な側面については庭木のみを検討の対象とした。

(1) 使用樹種の特性

これらの庭園群に使用されていた樹種は全体で197種であった。分析の対象をこれら全ての樹種としてもよいが、197種のうち約半数は2サンプルずつ以下にしが出現しない。2サンプルは全体の5%以下にあたることから、このような樹種を分析の対象とすることはあまり意味がないので、ここでは3庭園以上に出現した樹種を分析の対象とした。それでも、使用樹種は104樹種を数え、日本庭園に使用される樹種のバラエティが非常に豊かであり、これも日本庭園の風致性と関係する一つの重要な要因であると推察された。

この樹種群と庭園群とを関連づけるために、各樹種をサンプルとし、庭園をカテゴリーとしたカテゴリカル・データ・マトリックスを作成して、数量化3類⁵⁾⁶⁾による分析を行なった結果を図5に示した。同図は、それぞれの庭園の植栽樹種との関連性を最大相関軸（横軸）と第2相関（縦軸）平面上における布置を表わしたものである。同図にみられるように、使用樹種からみた庭園群の類型化はそれほど明確ではないが、一応次の2グループに別けることができる。すなわち、

- カテゴリー番号17 那谷寺庭園（石川）
- 25 百瀬氏庭園（長野）
- 34 輪王寺庭園（栃木）
- 52 清水氏庭園（長野）

表4 庭木の特性抽出に用いたサンプル庭園

サンプル番号	庭	園	名	所在地
1	園	城	寺	滋賀
2	摩	訶	耶	静岡
3	唯	念	寺	滋賀
4	芬	陀	院	京都
5	龍	源	院	京都
6	大	仙	院	京都
7	中	宮	寺	奈良
8	雲	雲	院	京都
9	汲	月	亭	滋賀
10	多	賀	大	滋賀
11	聖	衆	来	滋賀
12	蓮	衆	迎	滋賀
13	養	寿	院	大阪
14	観	持	院	京都
15	圓	乘	院	滋賀
16	建	長	寺	神奈川
17	那	谷	寺	石川
18	中	山	寺	兵庫
19	西	教	寺	滋賀
20	律		院	滋賀
21	雑	華	院	京都
22	祥	雲	寺	大阪
23	妙	法	院	京都
24	久	門	氏	愛媛
25	百	頼	氏	長野
26	居	初	氏	滋賀
27	陶	原	氏	奈良
28	仁	和	寺	京都
29	仁	和	寺	京都
30	南	禅	寺	京都
31	東	福	寺	京都
32	蓮	乘	院	島根
33	靈	鑑	寺	京都
34	輪	王	寺	栃木
35	阿		波	徳島
36	是	心	院	徳島
37	光	明	寺	滋賀
38	相	国	寺	京都
39	華	蔵	院	兵庫
40	神	原	氏	岡山
41	當	麻	寺	奈良
42	極	楽	寺	滋賀
43	春	光	院	京都
44	日	吉	神	京都
45	願	勝	院	徳島
46	浄	国	寺	和歌山
47	旧	鈴木	郎	和歌山
48	等	覚	寺	愛媛
49	円	通	寺	京都
50	早	雲	寺	京都
51	新	羅	善	滋賀
52	清	水	氏	長野
53	伊	藤	氏	福岡

図-5 カテゴリー（庭園）の数量の布置図
同一座標の場合はカテゴリー数字の小さいものを表示した。

図-7 サンプル（樹種）の数量の布置図
同一座標の場合はサンプル数字の小さいものを表示した。

図-6 カテゴリー（庭木の大きさ）の数量の布置図

53 伊藤氏庭園（福井）

のグループとその他のするグループである。これは、中部・北陸の温帯域と関西を中心とする暖帯域という立地の違い考えられ、植物材料の使用において植物地理的特性が反映される可能性を示すものであろう。

このように、立地条件が植物材料に影響するが、使用される樹種全体を対象にすると、庭園ごとの類型化は困難であり、すくなくともここで対象とした庭園群においては、庭木の使用パターンの抽出はできなかった。このことは、一方で日本庭園の意匠における庭木の選択についての自由度の高さを示唆しており、日本庭園の風致性発現に関するいま一つの特性といえよう。

(2) 大きさからみた使用樹種の特性

次いで庭園と植栽木の大きさとの関連について検討を加えてた。大きさの測度としては、樹冠直径を用いた。

植栽木をその樹冠直径によって22カテゴリーに区分し、53庭園群をサンプルとしたカテゴリカル・データから数量化理論3類を適用して分析を行なった。得られた結果を図6と図7に示した。図6は、用いられている庭木の樹冠直径カテゴリーの布置図である。この図に見られるとおり、庭木の大きさに相当する樹冠直径は、カテゴリー1からカテゴリー9までのグループとカテゴリー10以上のグループに2分された。前者は、樹冠直径4m以下の小型の庭木が構成の主体となっている庭園群であり図7と対応させてみると次のような庭園群が相当することがわかった。

サンプル番号11	聖衆来迎寺庭園 (178m ²)
8	8雲雲院庭園 (59m ²)
9	汲月亭 (287m ²)
6	大仙院庭園 (104m ²)
30	南禅寺本坊方丈 (336m ²)
13	養寿寺庭園 (92m ²)

などの面積の小さい庭園サンプルが主体となっていた。

一方、カテゴリー10以上によって構成されるグループには、

サンプル番号44	日吉神社 (4100m ²)
49	円通寺庭園 (1379m ²)
1	園城寺庭園 (6930m ²)
52	清水氏庭園 (1242m ²)
34	輪王寺遙園 (3158m ²)
29	仁和寺庭園 (3035m ²)

など大面積の庭園サンプルに代表されるように、総体的に規模の大きい庭園群が対応していた。このことは、使用される個々の庭木が規模が庭の面積規模と対応していることをしめ示している。この対応関係の存在は経験的

にも肯定されるし、前述した庭園面積と因子群との重回帰分析においても示されていたが、このように全く別の分析によってもやはり同様に示され、日本庭園における庭木の使用に関する一つの傾向とみてよいであろう。

以上のように、日本庭園における庭木の構成に関する質的側面の法則性は、量的側面のそれと較べて特に明瞭とはいえないが、庭園規模と庭木の規模には対応性があり、庭木の規模の範囲と樹種とに関連性が存在することがわかった。樹種については明瞭な規則性を見いだすことができなかった。これは、分析方法に問題があるとも考えられるが、むしろ使用樹種に関してある程度は立地の影響は受けるものの、高い自由度をもった選択がなされていることを示唆しているといえよう。

4. コンピュータによる庭園設計の試み

日本庭園造成の手法については、作庭記、築山庭造伝などの著名な指導書から始まりこれらの解説書を含め多数のものが出版されてきた¹⁾⁷⁾¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。また、これらの伝統的な手法を中心にした造庭書とは別に、近代的な理論を基にした庭園構成に関する秀れた解説書もある。ここでは、新しい試みとして、よく知られたこれらの手法とは全く異なった考えに基づく庭園の設計の可能性を検討した。

庭園の設計においては、創造性がその基本となるが、同時にこれまで検討してきたように、風致性発現のための極めて高い総合性も要求される。その結果、材料の使用に関してはある種の規則性を共有することがわかった。このことは見方を変えれば、その規則性を足がかりにして庭園の設計を行ない得ることを示唆している。そこで、ここまでで得られた検討結果を基にして、コンピュータを用いる自動的な庭園設計を試みた。もちろん、高度な精神作業である庭園設計が、そのまま機械的なコンピュータ・シミュレーションに置き換えられるとは考えてはいない。また、シミュレーション自体を行なうための条件がまだ不備であることも承知の上で、日本庭園の構成上の特性を知るための一つの手段として、不十分ではあるがあえて試行した。

シミュレーションの媒体としては、グラフィック機能に優れるパーソナル・コンピュータを用いた。言語はN 88-BASICを主体にし、一部必要な部分は機械語を使用した。

(1) シミュレーションのプロセス

シミュレーションを行なう際には、種々の条件設定が必要であるが、一般に精密なものを目的とする程それは多数で複雑になる。そこで、今回は初期的なものであることを考えて、条件設定は必要最小限度に絞った。すなわち、構成材料を庭木と庭石に限り、その量と質（庭木のみ）ならびに配置に関する条件を入力し、それによ

図-8 庭園設計のフロー

て自動発生させるものである。庭木の量的要因を先の因子分析や数量化理論1類による検討によって得られた規則性によって発生させ、樹種については今回は任意に与えることとした。庭石については、今回はその量的要因だけ取り上げることとし、その決定は庭木と同様に行なった。庭木と庭石の配置については、よく知られた多くの造園書にも著わされているとおり、日本庭園固有の手法がある。ここでも庭園のシミュレートにあたって、今回解析の対象としてきたのが日本庭園であることから、このノウハウを用いることを考えたが、それではシミュレーションが制約を受けすぎるし、出来上がったものがコピー性の強いものとなり面白くない。今後においては、当然このような伝統的な手法の導入をはじめ種々の条件設定によるシミュレートが試みられなければならないが、ここではむしろ高い自由度のもとで行なうことによって、この試みの可能性を検証することにした。従って、材料の配置は乱数によるランダム配置とした。シミュレーションのフローを図8に示した。同図に見ら

れるように、内容は庭園面積回帰ブロック、変数回帰ブロック、変数に適合する材料の大きさを決定するブロック、樹種選定ブロックの4ブロックから成っている。

庭園面積回帰ブロックにおいては、乱数によって4因子に対してそれぞれ1から5のどれかのカテゴリーが与えられる。次いで、与えられたカテゴリーに対応する回帰係数を加算して庭園面積が決められる。ここで用いた条件では、400通りの面積が得られることとなる。実行した結果、約1500m²までであればほぼ全域にわたって庭園面積を得ることができるが、非常に規模の大きいものと逆に小さいものは発生しにくいことが判明した。

変数決定ブロックにおいては、まず各因子に与えられたカテゴリー値をもとにして、そのカテゴリーの属する因子得点の範囲内でランダムに因子得点値をとるものとした。次いで、その因子得点を各変数にランダムに割りつけ、割りつけられた値をその変数に対する因子負荷量で除してやればその変数の基準化された値が得られることになる。このとき、各変数の平均と標準偏差が知られているので、基準化値と標準偏差の積に平均を加えることによって、特定の変数に対する値が求められる。

ただし、このとき得られた値があまりにも現実とそぐわない場合もあると考えられるので、標準偏差の3倍以内を正常値の基準として確認した。各変数が正常域にあれば、庭木の平均投影面積から算出した平均樹冠直径が庭の規模と関連する主体となる樹木の樹冠直径に近い値かを確認し、近いとみなされれば最終段階である各樹木、各庭石の大きさの決定に進む。

ここで、近い値かどうかの判定は、主体となる樹木の大きさが平均樹冠直径±50%以内を基準とした。また、主体となる樹木の大きさは、数量化理論3類による分析で得られた規則性に基づき次のようにして決めた。庭園面積が1000m²以下の庭園については8カテゴリーに分割し、各面積に対応する樹木の大きさを決め、1000m²以上の規模についてはカテゴリー9から22までのいずれかをランダムにとるものとした。

算出された15変数が全ての条件を満足した場合、得られた15変数のうち主体となる。庭木の平均投影面積、庭木の投影面積の標準偏差、庭木の本数、庭石の平均投影

図-9 庭木の大きさの出現頻度

面積、庭石の投影面積の標準偏差、庭石の個数、の各変数を用いて各庭木および庭石の大きさを決定した。その手順は以下の通りであった。

まず、庭木と庭石の大きさの分布型を知る必要があるので、全庭園について使用されている樹木の大きさの分布を調べた。その結果は図9に示す通りであった。同図から明らかのように、庭木の大きさの頻度分布は対数正規分布となつたので、対数正規乱数によって必要な本

図-10 庭園図のグラフィック表示のフロー

図-11 庭園シミュレーションの例
面積 150 m^2 の平面図とそのアニメーション法によるパース。

数を発生させそれらを平均 0, 標準偏差 1 に基準化し, 得られた標準得点と変数第 7 の庭木の投影面積の標準偏差との積に庭木の平均投影面積を加えて求める庭木の大きさを決定した。庭石についても同様にして決定した。

樹種選定は, まずランダムに 104 種の内に 1 種を選定する。その際, 数量化理論 3 類による検討より, 樹種と大きさとの関連性が判明しているの, 選ばれた樹種の大きさが先の大きさ決定ブロックにおいて決定されている大きさの中に存在するかどうかを調べ, 存在すればこれを採用し, なければ初めから繰り返すこととし, 変数番号 5 によって決定されている樹種数まで選択する。

この際, 変数番号 8 の樹種ごとの本数の標準偏差が決定されているので, それを満たす樹種ごとの本数を予め決めておく必要がある。そこで, 樹種ごとの本数の分布は正規分布にしたがうものとして, 樹種数の正規乱数を発生させその標準得点を算出し, 標準得点と標準偏差の積に平均を加え各樹種ごとの本数を決定した。

本来ならば, さらにここで庭園の立地や庭園のタイプあるいは庭木の好みなどの基準による情報入力があるか, それともそのような基準による選別過程が導入されるわけであるが今回はその部分は省略した。しかし, これは今後において必要になれば容易に取り入れることが

図-12 庭園シミュレーションの例

図14と同じもののワイヤーフレーム法によるパース（手前から角度20度見下ろしたもの）と正面図。

できる。

材料の配置については、先に述べたように、今回は基本的にはランダム配置としたが、庭園の形状は正方形ないしは長方形とする制限を入れた。さらに庭園の周辺部分の配置密度が高くなるように乱数発生を制御した。従って、この段階で同時に庭の向きも決定することになる。

以上のプロセスを行えば、理論的にはいくらでも庭園の設計ができるが、実際には、作庭にあたっては庭園用地（面積）が決まっているのが普通と考えてよいから入力条件として作庭しようとする面積も加えてやる必要がある。そこで、図8に示したフローのように、回帰的に得られた庭園面積が入力の基準を濃たしときのみ、その結果を採用の候補とするようにした。出来た庭園設計の情報は、樹種名、樹冠直径、座標位置、庭石（今回

は種類はない）、庭石直径、座標位置として記憶媒体に収納され随時取り出すことができる。

(2) シミュレーション結果の表示

前述したプロセスによって得られた庭園の設計情報は、そのままでは数値的に与えられるだけであり、イメージとして捉えることが困難である。具体的な庭のイメージとしてこれを表わすためには、図化し視覚情報にすることが最も有効であろう。そこで、得られたデータをコンピュータによって図化することを試みた。そのフローは図10に示したとおりである。

まず、入力条件としてどこから庭園を見るかは、見下し角及び回転角によって与えるものとした。配置のための情報である座標を新たな座標系に変換して2次元平面に投影する。ついで、材料の重なりを再現するために、奥にある材料から順にデータが並ぶようにソーティング

図-13 庭園シミュレーションの例
面積 500m² の平面図とパース（手前から角度20で見下ろしたもの）。

を行なう。これを庭園の最も奥に存在する材料から、その材料をシンボライズしたグラフィック・パターンによって描いていく。

今回は、このグラフィック・パターンとして、とりあえず、アニメーション的な疑似3次元グラフィックスによる方法と、ワイヤーフレーム法を応用した完全3次元グラフィックスの2つの方法を開発した。両法には一長一短がある。前者は、材料の色彩や形状などのプレゼンスがよく作画時間が大変短い点が有利であるが、正面図すなわち見下し角が小さいときにしか利用できない。一方、後者の最大の特長は見る方向が完全に自由なこと

あり、立体的な表現力にも優れている。さらに、その性質上、点の集合として何でも表現できる。しかし、実際には、3次元座標変換を膨大な回数繰り返す必要があり作画に時間がかかり、色彩表現を行なうためにはさらに実行時間が長くなる。このことは、汎用のパーソナル・コンピュータを用いる場合には大きな欠点となる。今回も、樹木の枝の分岐方向や葉の一枚までを取り扱うと大変であったので、とりあえず樹木の幹と枝葉のクラスターの集合体とみなして、枝葉のクラスターを3次元に配置した基本モデルを作り、それを変形させることによって多くの樹種を表現することとした。

図-14 庭園シミュレーションの例
面積 700m² のアニメーション法のパースとその平面図。

実際にプログラムを走らせてみると、庭園図はかなり短時間で作出され、とくに中程度の規模（約 500 m²）の場合は全工程が数分ないし 10 分程度しか要しなかった。作例を図 11～図 16 に示した。CRT 上に表示された場合は色彩が豊かであることも手伝い、ここに示したハードコピーよりずっと現実感がある。何れにしても、完全な数値的プロセスによって作出した庭園図が、ここに見られるようにそれほど荒唐無稽なものではないことは注目し値するといえよう。勿論、描かれる図は今のところ未だかなり粗雑なレベルにある。しかし、そのこと自体は先に述べたように技術上の問題であり解決は容易である。今後の問題としては、ここで行なってきた一連のプロセスの改良があるが、そのためにさらに多様な庭園群について細密な調査と、得られた結果の評価のために少なくとも物理モデルまでは起こす必要がある。

ま と め

この研究は、評価の高い日本庭園には、個別的でかつ細部構造上の構成だけでなく、大ざかみではあるが庭木と庭石の構成に関するもっと普遍的な一群の規則性が存在するのではないか、という仮説を検証することを当初の目的とした。

いくつかの庭園の平面図を何い、その中の庭木と庭石にしぼって、それらの量的側面を中心に種々の多変量解析を行なった。因子分析の結果、日本庭園の構成は、①植栽の量的因子、②庭木の多様性因子、③樹種の偏用性因子、④開放性因子、⑤庭石の量的因子、⑥庭石の変化性因子、⑦庭石のバランス性因子、の 7 つの要因群によって全変動の 96% までが説明できた。また、これらの要因はそれぞれが庭木に関するものと庭石に関連するものとに明確に独立していた。

これらの因子群と庭園の規模（面積）とについて、数

図-15 庭園シミュレーションの例
面積1000 m^2 の平面図とそれを手前左から角度20で見下ろしたもの。

量化理論1類を適用して関係を検討したところ、非常に強い相関性が存在することが判明した。それぞれの因子の作用は複雑で、①樹種の多用や大きい樹木の使用は庭園面積を広くする、②特定樹種の偏用は面積をせばめる③庭石の変化性は面積を広くする、④庭石の極端な多用は面積を狭くする方向に働く、などの特有の影響パターンをもっていることがわかった。

数量化理論3類によって、庭園における庭木の用い方

に関する規則性を検討した。その結果、①庭の立地が使用樹種に影響する、②庭の規模が主要使用樹種の大きさに関連している、③庭園においては樹種固有の大きさが生かされている、ことが判った。

このように、日本庭園美の特性に関するこれまでの研究とは全く異なった手法によって、その風致性発現に関して様式をこえた普遍的な規則性とでも呼べるような特性を抽出することが出来た。

図-16 庭園シミュレーション例。アニメーション法によるパースの3例
(面積は上からそれぞれ, 600m², 800m², 1000m²)。

そこで、ここで得られた規則性を主体としてパーソナル・コンピュータによる庭園設計シミュレーションの可能性を試した。実際に、視覚情報までのプログラム化をして検討を加えを結果、まだ未熟ではあるが庭園図をシミュレートすることに成功した。

以上のように、この研究の目的は不十分ながらも一応は達せられたと思われるが、もちろん今後に残された課題は多い。なかでも、立体的な側面に関する情報の検討、庭石の質に関する情報の検討、水の扱いに関する検討、樹木の生長などの生理的特性の検討、さらに一般的な庭園のイメージ構成に関する定量的検討、などの困難ではあるが本質的な課題が残されているので、今後はこれらの点に関してさらに検討を重ねるつもりである。

引用・参考文献

- 1) 浅野二郎：日本庭園の手法，造園技術大成（関口鉄太郎監修），358—367，養賢堂，東京，1978
- 2) 千葉喬三，竹村 薫，林 克俊：日本庭園の庭石の分布特性に関する研究，岡山大農学部，64，15—24 1984
- 3) 千葉喬三，林 俊克：日本庭園における樹木の配植に関する研究，岡山大農学部，65，23—32，1985
- 4) 藤田英時，幸田敏記：P C—Techknow 9800，システムソフト，東京，1984
- 5) 林知己夫：数量化の方法，東洋経済新報社，東京，1979

- 6) 林知己夫：多次元尺度解析法の実際，サイエンス社 東京，1984
- 7) 池田二郎：庭づくりの相談，農業図書，東京，1974
- 8) 森 蘊：日本の庭園，吉川弘文館，東京，1968
- 9) 森 蘊：日本庭園史話，日本放送協会 出版，東京，1981
- 10) 村岡 正：日本庭園，造園技術大成（関口鉄太郎監修），142—161，養賢堂，東京，1978
- 11) 中根金作：名庭のみかた，保育社，東京，1977
- 12) 中根金作：庭づくり，保育社，東京，1979
- 13) 大山陽生，埴生雅章：樹木を主体とした空間構成，造園ハンドブック（日本造園学会 編），375—388，技報堂，東京，1978
- 14) 斎藤勝雄（編）：庭園設計の実際，技報堂，東京，1972
- 15) 沢藤雅也：植栽設計，造園技術大成（関口鉄太郎監修），243—258，養賢堂，東京，1978
- 16) 芝祐 順：因子分析法，東京大学出版会，東京，1979
- 17) 森 三玲：庭ころとかたち，社会思想社，東京，1969
- 18) 重森三玲監修：実測図・日本の名園，誠文堂新光社，東京，1971
- 19) 重森三玲監修：続実測図・日本の名園，誠文堂新光社，東京，1976
- 20) 吉川 需：古庭園のみかた，第一法規出版，東京，1968

（1985. 7. 12受付，1985. 11. 30受理）