欧州及び日本におけるサステナブル建築のデザイン手法とその特性に関する研究

CHARACTERISTICS OF SUSTAINABLE BUILDING AND DESIGN METHOD IN EUROPEAN COUNTRIES AND JAPAN

渋谷達郎*, 岸本達也**

Tatsuro SHIBUYA and Tatsuya KISHIMOTO

The purpose of this research is to clarify and systematize characteristics of sustainable design methods and sustainable buildings in European countries and in Japan. 650 samples are collected and 135 samples are analyzed through the multi-variable analysis using quantification method type3. As a result, three main factor axes which characterize design methods are lead. 1. Technology vs. Social axis, 2. Long life span vs. High circulation axis, 3. Economics vs. History and Climate axis. Next, using these factor axis characteristics of sustainable building are analyzed with the samples. Characteristics by regions, by building types and by building scale are clarified.

Keywords: Sustainable Building; Sustainable Design; Design Method; Quantification Analysis

サステナブル建築 サステナブルデザイン デザイン手法 数量化分析

1. 背景と目的

1987年の国連ブルントランド委員会における「我ら共有の未来」¹⁾を契機とした「サステナブル・ディベロップメント」は、地球環境保全のキーワードとして広く認知されるようになった。建築分野においても、国際的には1993年6月のシカゴ会議において、国際建築家連合(UIA)及びアメリカ建築家協会(AIA)が「持続可能な未来のための相互依存宣言」²⁾を連名で取りまとめたほか、欧州協力開発機構(OECD)が、1998年から「サステナブル建築プロジェクト」³⁾を4ヵ年計画で開始している。日本においても、日本建築家協会(JIA)による「サステナブル・デザインガイド」(1995)⁴⁾をはじめ、日本建築学会(AIJ)による「サステナブル・ビルディング普及のための提言」⁵⁾(1999)など、「持続可能な建築」の実現に向けたさまざまな取り組みが行われている。

これら各国の持続可能な建築の実現に向けた政策や提言等の動向に関する既往研究としては村上・白石(1998)⁶⁾が、建築の持続可能性(通称サステナブル建築)の枠組について、これまでの各国の取り組みを包括している。この研究では、サステナブル建築の実現に向けた方策について論じており、単に建築のみが持続しても生活が持続することにはならないこと。つまり、「建築における

持続可能性(サステナビリティ)」の問題は、材料の耐久性や建築の耐用年数といった建築の物理的な寿命として狭義にとらえるのではなく、社会的な寿命や地球環境の問題として広義にとらえる必要があることを指摘している。

建築を「サステナブル」なものにしている方法・技術は、①材料の耐久性向上や建築耐用年数の増大といった建築材料に関するもの、②CO₂排出抑制や環境負荷の低減といった建築生産・ライフサイクルに関わるもの、③歴史的建造物の再生やコンバージョンといった建築のリユース・リデュース・リサイクルに関わるものなど、多岐にわたる。本研究では、建築を「サステナブル」なものにしているデザイン上の方法・技術を総称して「サステナブル・デザイン手法(以下SD手法)」と呼び、こうした手法を取り込むことによって計画された建築を「サステナブル建築」と呼ぶことにする。

先のJIA「サステナブル・デザインガイド」では、さまざまな方法・技術の中から、32項目のSD手法が分類されている。一般に、地域ごとに異なる特色を持つことや、多様化・複合化する傾向にあると思われる。しかし、それらがどのように組み合わせられて「サステナブル建築」となっているかは明らかではない。実際の建築にあって、SD手法の組み合わせ方は建築家の経験による

* パシフィックコンサルタンツ(株) 修士(工学)

** 慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科
専任講師・博士(工学)

PACIFIC CONSULTANTS CO., LTD., M. Eng.

Assistant Prof., Department of System Design Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University, Dr. Eng.

表3 サステナブル建築の特性を表すSD手法(32項目)の相関係数行列

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1 環境負荷の少ない材料を使用	1.000	-0.423	0.133	-0.059	0.160	0.102	-0.239	-0.052	-0.194	0.077	0.191	-0.008	0.264	0.096	0.146	-0.361	0.150	0.067	-0.049	-0.024	-0.112	0.228	0.285	0.024	0.043	0.256	0.019	-0.117	-0.242	0.227	-0.263	
2 耐久性のある材料を使用	-0.423	1.000	-0.252	-0.423	-0.289	-0.100	-0.007	0.131	-0.029	0.042	0.137	0.125	-0.263	0.020	-0.077	0.071	0.096	-0.007	0.015	0.021	0.014	-0.092	-0.026	0.117	0.090	-0.025	-0.038	0.277	-0.263	0.227	-0.263	
3 再利用可能な資材活用	0.133	-0.252	1.000	0.309	0.045	0.060	-0.041	0.004	-0.179	0.113	0.180	0.180	0.198	0.061	-0.012	-0.115	0.142	-0.279	0.144	0.012	0.100	0.092	-0.017	-0.042	-0.041	0.252	0.046	0.101	0.131	0.075	-0.059	-0.136
4 人体に無害な材料使用	0.059	-0.423	0.309	1.000	0.237	0.068	-0.147	-0.080	-0.074	0.073	0.161	0.046	0.184	0.110	0.153	-0.180	0.174	-0.348	0.178	0.077	0.106	-0.077	0.036	-0.031	0.197	0.226	-0.168	0.107	0.346	0.245	-0.167	-0.039
5 断熱・気密・日射遮蔽	0.160	-0.289	0.045	0.237	1.000	0.078	0.185	0.059	-0.039	0.063	0.204	0.070	0.078	-0.082	0.021	-0.023	0.021	0.086	-0.042	-0.005	0.031	0.110	0.158	-0.025	-0.008	-0.088	-0.266	-0.116	0.098	0.079	-0.196	0.007
6 フロン排出抑制	0.102	-0.110	0.060	0.068	0.078	1.000	-0.228	-0.163	0.113	0.067	0.233	0.066	0.180	-0.020	0.009	0.284	-0.203	0.175	-0.014	-0.045	0.117	0.094	0.089	-0.024	-0.025	-0.028	-0.189	0.149	0.144	-0.270	-0.183	0.163
7 フレキシブルな空間計画	-0.239	-0.007	-0.041	-0.147	0.185	-0.238	1.000	-0.303	0.116	0.092	-0.214	0.190	0.054	-0.159	-0.210	-0.004	-0.034	-0.199	-0.161	-0.189	0.161	0.159	0.248	-0.167	-0.190	-0.134	-0.026	-0.048	-0.157	0.058	0.163	
8 維持管理を容易にする建築設備計画	-0.052	0.131	0.004	-0.080	0.055	0.163	-0.303	1.000	0.153	0.186	0.171	-0.319	0.152	0.100	0.091	-0.218	-0.238	0.108	0.070	-0.018	-0.324	0.370	-0.436	0.047	-0.174	-0.202	-0.015	0.048	0.182	0.150	0.344	
9 断熱・気密・日射遮蔽	-0.194	-0.005	-0.179	-0.074	-0.039	0.113	0.118	0.153	1.000	-0.020	-0.045	-0.013	0.078	0.050	0.046	-0.217	-0.039	-0.045	0.017	0.035	-0.317	0.191	-0.329	0.269	0.062	0.002	-0.001	-0.021	-0.114	-0.007	0.038	0.145
10 自然採光	0.077	-0.005	0.113	0.073	0.063	0.067	0.092	0.196	-0.020	1.000	0.183	0.196	0.028	0.019	0.017	-0.043	0.063	0.044	0.059	0.013	0.024	-0.013	0.026	0.202	-0.138	-0.213	-0.082	0.062	0.034	0.065	0.078	
11 自然換気・通風	0.191	-0.183	0.180	0.161	0.204	-0.233	-0.214	0.171	-0.045	0.183	1.000	0.150	0.174	0.029	0.010	0.000	0.204	0.146	0.100	-0.040	0.015	-0.081	-0.231	0.158	0.071	-0.092	-0.291	0.028	0.196	0.105	-0.153	0.156
12 太陽熱利用・太陽光利用	-0.009	0.029	0.180	0.046	0.070	0.066	0.190	-0.319	0.196	0.150	0.150	1.000	0.144	0.085	0.087	-0.281	-0.280	0.200	0.057	-0.182	-0.208	-0.294	0.198	-0.123	-0.161	-0.225	-0.138	0.190	0.173	0.125	0.239	
13 地中熱利用	0.284	0.042	0.198	0.184	0.076	0.180	0.054	0.152	0.076	0.028	0.174	0.144	1.000	0.295	0.202	0.183	-0.247	-0.313	0.320	0.291	0.004	0.049	0.070	0.107	0.114	0.180	0.012	0.109	0.242	0.241	0.015	0.158
14 風力利用	0.096	0.137	0.091	0.110	-0.062	-0.020	-0.159	0.100	0.050	0.019	0.029	0.085	0.295	1.000	0.329	0.108	0.295	-0.242	-0.076	0.599	0.076	0.033	0.047	0.070	0.237	0.021	-0.087	-0.011	0.224	0.233	-0.013	0.021
15 水力利用・バイオマス利用	0.140	0.125	-0.012	0.163	0.021	0.009	-0.219	0.091	0.046	0.017	0.010	0.087	0.329	0.329	1.000	0.000	-0.568	-0.343	-0.568	0.708	0.594	0.030	0.042	0.064	0.595	0.048	-0.079	0.108	0.213	0.090	0.097	0.058
16 高効率機器使用・制御管理システム	0.281	-0.263	-0.115	-0.180	-0.023	0.084	-0.200	-0.244	-0.217	-0.043	0.000	0.242	0.183	0.108	0.000	1.000	-0.384	-0.210	0.128	0.075	-0.141	0.176	-0.341	-0.312	-0.015	-0.037	-0.170	-0.178	0.047	0.142	0.108	0.212
17 エネルギーの多段階利用	0.191	0.020	0.142	0.174	0.021	0.200	-0.064	0.218	-0.039	0.063	0.204	0.280	-0.247	-0.285	-0.286	-0.286	1.000	0.682	0.379	0.208	0.031	0.110	0.082	0.186	0.179	-0.054	-0.162	-0.085	-0.238	-0.461	-0.034	0.180
18 未利用エネルギーの活用	0.081	-0.077	0.278	0.348	0.086	-0.204	-0.034	-0.238	-0.045	0.044	0.186	0.226	0.542	0.423	0.343	0.010	0.682	1.000	0.643	-0.295	0.065	0.077	0.110	0.167	0.156	0.037	-0.154	0.010	0.395	-0.522	-0.044	0.086
19 水のリサイクル	0.150	0.071	0.144	0.178	0.042	0.175	-0.169	0.108	0.017	0.036	0.100	0.200	0.329	0.473	0.343	0.128	0.679	0.643	1.000	-0.333	0.022	0.066	0.002	0.061	0.195	0.015	-0.013	0.115	0.042	-0.238	0.027	0.064
20 ゴミのリサイクル	0.067	0.096	0.012	0.077	-0.005	-0.014	-0.161	0.070	0.035	0.013	-0.040	0.097	0.291	0.699	0.769	0.075	0.206	0.295	-0.333	1.000	0.149	0.023	0.033	0.048	0.365	0.015	-0.081	0.210	0.261	-0.051	0.059	0.065
21 建築副産物の再利用	0.145	0.007	0.100	0.106	0.031	-0.045	-0.189	-0.016	-0.317	-0.024	0.015	-0.182	0.004	0.076	0.084	-0.141	0.031	0.065	0.022	0.149	1.000	-0.149	-0.078	-0.099	0.151	0.007	0.211	0.155	0.035	0.139	-0.066	-0.029
22 良質な光・環境計画	0.034	0.015	0.092	0.077	0.110	0.117	0.161	-0.324	0.191	-0.013	-0.081	0.205	0.049	0.033	0.030	0.176	0.110	0.077	0.068	0.023	-0.149	1.000	0.211	0.121	0.040	-0.126	-0.083	0.058	0.108	0.059	0.114	0.036
23 良質な温熱環境計画	-0.004	0.021	-0.017	0.036	0.158	0.094	0.159	0.370	-0.407	-0.231	0.244	0.070	0.047	0.042	0.341	0.082	0.110	0.002	0.033	-0.076	-0.211	0.051	1.000	0.007	-0.180	-0.229	-0.109	0.076	0.128	0.038	-0.296	
24 良質な空気環境計画	-0.112	0.014	-0.047	0.031	-0.023	0.069	-0.248	-0.248	-0.263	0.266	0.188	0.198	0.107	0.019	0.004	0.186	0.187	0.081	0.049	-0.089	-0.121	0.061	0.000	1.000	0.007	-0.180	-0.229	-0.109	0.076	0.128	0.038	-0.296
25 良質な音環境計画	-0.239	-0.092	-0.041	0.197	-0.008	-0.024	-0.167	0.047	0.062	0.023	0.071	-0.123	0.114	0.231	-0.272	-0.015	0.179	0.156	0.195	0.363	0.151	0.040	0.058	0.087	1.000	0.092	-0.108	0.194	0.184	0.332	0.045	0.056
26 地域性の表現	0.285	-0.026	0.252	0.226	-0.088	-0.025	-0.190	-0.174	0.002	-0.136	-0.092	-0.161	0.180	0.021	0.046	-0.263	-0.054	0.037	0.015	0.015	0.007	-0.126	-0.180	-0.180	0.092	1.000	0.212	-0.180	-0.079	0.038	-0.141	-0.217
27 歴史の保存と再生	0.024	0.117	0.046	0.168	-0.286	-0.008	-0.134	-0.202	-0.001	-0.213	-0.091	-0.225	0.012	-0.087	-0.079	-0.170	-0.162	-0.154	-0.013	-0.061	-0.211	-0.083	-0.328	-0.228	-0.108	0.212	1.000	-0.296	-0.201	-0.033	-0.217	-0.111
28 コミュニティの活性化	0.103	0.049	0.101	0.107	-0.118	0.189	-0.026	-0.015	-0.021	-0.082	0.028	-0.138	0.109	-0.011	0.108	-0.178	-0.085	0.010	0.115	0.042	0.155	0.088	-0.081	-0.109	0.194	-0.180	-0.296	0.007	0.067	0.085	0.087	
29 緑化・浸透性舗装	0.238	-0.025	0.131	-0.346	0.068	0.149	-0.048	0.048	-0.114	0.062	0.196	0.100	0.242	0.224	0.273	0.047	-0.426	-0.365	-0.422	-0.210	0.035	0.108	0.003	0.076	0.184	-0.079	-0.201	0.194	0.100	-0.315	0.010	0.027
30 廃棄物排水の適正な処理	0.219	-0.036	0.075	0.245	0.079	0.144	-0.157	0.182	-0.007	0.034	0.105	0.173	0.241	0.233	0.260	0.142	-0.491	-0.362	-0.476	0.384	0.139	0.059	0.085	0.128	0.332	0.038	0.033	0.067	0.318	1.000	-0.115	0.038
31 ビル風・日影への配慮	-0.117	0.227	-0.059	-0.167	-0.196	-0.270	0.058	0.150	0.038	0.095	-0.152	0.125	0.015	-0.013	0.097	0.108	-0.034	-0.044	0.027	-0.009	-0.096	0.114	-0.061	0.038	0.045	-0.141	-0.212	-0.085	0.010	-0.115	0.038	0.089
32 大気汚染・CO2排出抑制	-0.243	0.283	-0.136	0.039	-0.007	0.183	0.163	-0.344	0.145	0.078	0.199	0.239	0.158	0.021	0.058	0.177	0.180	0.086	0.064	0.065	-0.020	0.036	0.196	0.296	0.056	-0.217	-0.111	0.087	0.007	0.038	0.089	1.000

されている。建築写真の他に、建築材料、建設コスト、断面詳細図などの設計に関わる詳細情報が掲載されている。この中から 22 事例を収集した。

事例収集の結果、延べ 650 事例が収集された。650 事例の内訳は、欧州諸国及び日本の 1980's 以降の現代建築が大半を占める結果となった。このため、今回の分析対象を欧州及び日本の事例について行うこととし、事例の少なかったアジア諸国や米国は今後の研究課題として分析対象から除外することとした。また収集した中から、①独立戸建て住宅、②博覧会やイベント等の仮設建築物、③橋梁・河川などの土木構造物、④プロジェクト・コンペ案など実際には建設されていないもの、⑤図面・構造・規模など、分析に必要な情報が不明のものを除外し、分析対象を 135 事例に絞込んだ。国別の内訳は表 1 の通りである。イギリス 27 事例、ドイツ 29 事例、オランダ 11 事例、フランス 13 事例、スイス 3 事例、オーストリア 9 事例、イタリア 5 事例、スペイン・ギリシア各 3 事例、ロシア 2 事例、セビリア・アイルランド・フィンランド・ノルウェー各 1 事例、日本 26 事例、合計 135 事例を分析対象として抽出した。

2-2. SD 手法の分類

SD 手法の分類は、既往の分類例として JIA 作成の「サステナブル・デザインガイド」⁶⁾を参考にして、これを発展させる方向で検討した。

まず、「サステナブル・デザインガイド」で分類された 32 項目について再検討を行うこととした。32 項目についてのチェックシートを作成し、抽出された 135 の事例について、該当する SD 手法が適用されていれば「1」、適用されていなければ「0」を入力してデータの数量化を行った。その結果を表 2 に示す。個々の 0、1 の判断は、収集したサステナブル建築の論文・書籍の情報から総合的に判断することにより行った。例えば、「環境負荷の少ない材料を使用」、「ゴミのリサイクル」など、SD 手法が具体的な手法・技術の場合には、その手法や技術が用いられている場合には 1 を入力し、そうでない場合は 0 を入力した。「地域性の表現」、「コミュニティの活性化」など、内容が抽象的な項目については、判断が難しいため、抽出した 135 事例から、よりの確に当てはまる名称を検討し、項目名に変更した。例えば、サステナブル・デザインガイドにおける「地域性の表現」という SD 手法は、135

事例の中で複数の事例で用いられていた「地場産材の活用」に変更し、地場産材が主な材料として掲げられていれば 1 を、そうでない場合には 0 を入力した。「コミュニティの活性化」は、より意味の広い「都市の魅力アップ」に変更している。これは、来訪者が増加し、地域の活性化につながるなど、建築が建ったことで都市の魅力が向上したことが文献等に記載されていれば 1 を、そうでない場合には 0 を入力した。「大気汚染・CO₂排出抑制」については、京都議定書などで地球環境保全に関わる具体的な数値目標が掲げられており、すべてのサステナブル建築が対象となる重要な項目のため、特に主要なコンセプトとして掲げられている事例のみを数量化の対象とした。

次に、作成したテーブルデータをもとに、32 項目の SD 手法について、相関分析を行った。その結果を表 3 に示す。データの冗長性を考慮して、相関性が著しく高い複数の SD 手法を集約する作業を行った。例えば、「地中熱利用」、「風力利用」、「水力利用・バイオマス利用」、「高効率機器使用・制御管理システム」、「エネルギーの多段階利用」、「未利用エネルギーの活用」、「水のリサイクル」、「ゴミのリサイクル」、「廃棄物排水の適正な処理」は、相互に高い相関性が見られたため、「未利用エネルギーの利用」として集約した。また、「緑化・浸透性舗装」は、屋上緑化の事例が多かったため、「屋上緑化」と項目名を変更した。このように、抽

出された135事例から相応しい項目名称に変更する操作を行うことで、項目名に具体性を持たせた。その結果、32項目は、図1に示すように、17項目に整理された。

3. 数量化3類による多変量解析

2. で作成された32項目のSD手法のテーブルデータを、図1の対応表から17項目のテーブルデータへ変換し、それに対して数量化3類による多変量解析を行う。そこからSD手法の特性をグラフ化して分析することでサステナブル建築の特性を明らかにする。数量化3類は、「0」、「1」などであらわされるカテゴリデータを多変量解析する手法であり、主成分分析のように、項目と事例双方の特徴を分析することができる。

まず、17項目のSD手法において、項目別負荷量を表4のテーブルデータを用いて分析した。表4を見ると、第1成分においては固有値が0.135、寄与率が22.36%であり、第2成分においては、固有値が0.112、寄与率が18.451%、第3成分では、固有値が0.063、寄与率が10.448%となった。第6成分までの累積寄与率が73.87%であり、固有値、寄与率共に全体的に低い傾向を示した。これは、相関分析の結果からもわかるように、項目数が17項目と多く、突出して強い傾向を持つSD手法が比較的少ないためである。

次に、成分ごとの分析結果を用いて、成分1、成分2、成分3の項目別負荷量をグラフ化した。図2を見ると、成分1では「歴史の保存と再生」、「都市の魅力アップ」、「地場産材の活用」、「環境負荷の少ない材料を使用」などがネガティブに作用しているのに対し、「大気汚染・CO2排出抑制」、「スケルトン・インフィル」、「高効率機器使用」「維持管理を容易にする設備計画」などがポジ

ティブに作用していることがわかる。成分2では、「未利用エネルギーの活用」、「屋上緑化」、「環境負荷の少ない材料を使用」、「再利用可能な資材活用」などがネガティブに作用するのに対し、「歴史の保存と再生」「耐久性のある材料を使用」などがポジティブに作用している。さらに成分3については、「歴史の保存と再生」、「未利用エネルギーの活用」、「屋上緑化」、「地場産材の活用」がネガティブに作用し、「都市の魅力アップ」「環境負荷の少ない材料を利用」「スケルトン・インフィル」などがポジティブに作用している。

3-1. 1-2成分軸を用いたSD手法の特性分析

成分1と成分2の直交軸による空間上に、17のSD手法をプロットすると図3のようになる。ここから、①歴史の保存と再生、都市の魅力アップ、地場産材の活用といった主に「社会との関わり」に関するグループ、②耐久性のある材料を使用、大気汚染・CO2排出抑制、太陽熱利用・太陽光利用など主に「人と技術」に関するグループ、③環境負荷の少ない材料、未利用エネルギーの活用、屋上緑化などの「高循環・軽負荷」に関するグループの3つにSD手法をグルーピングし、その特性を明らかにすることができた。

以上により、それぞれのSD手法の分布から、第1成分はサステナブル建築における「社会⇄技術」の対照的な2つのベクトル(特徴・方向性)を表すものと考えられる。また第2成分は、「高循環・ライフネス¹⁾⇄ロングライフスパン・ロバストネス²⁾」の対照的な2つのベクトルを表すものと考えられる。

次に、サステナブル建築の代表的な8事例について、図4のように1-2成分軸上に散布して例示する。「ライヒスターク」は、老朽化した議事堂をコ・ジェネレーションシステムなどの設備技術を駆使して、現在に再生させた事例であり、歴史の保存と再生や、高効率機器使用・制御管理システムの採用の面においてサステナブル建築とされる。「ベッドゼット」、「深沢環境共生住宅」、「ミレニアムビレッジ」は、共に環境共生型の集合住宅としてサステナブル建築とされている。「ネクスト21」は、スケルトン・インフィルを採用した集合住宅として、「コメルツバンク」は、高層建築でありながら、自然換気・通風を実現した建物としてサステナブル建築とされている。1-2成分軸上においては、高い科学技術によってSD手法を高層建築に用いた「コメルツバンク」が第1象限の近くに位置しており、「デートモダン」、「ライヒスターク」という、公共性の高い事例が共に第2象限に位置している。

表4 数量化3類による分析結果(%)

項目/カテゴリ	成分1	成分2	成分3	成分4	成分5	成分6
1 環境負荷の少ない材料を使用	-1.717	-1.871	1.171	1.228	0.301	-0.534
2 耐久性のある材料を使用	0.4	1.118	-0.668	-1.46	-0.162	0.766
3 再利用可能な資材活用	-0.889	-0.904	0.792	0.763	0.448	-0.15
4 スケルトン・インフィル	1.039	0.555	0.913	1.542	-0.47	0.565
5 維持管理を容易にする建築設備計画	0.545	0.076	0.343	0.115	0.384	-0.108
6 断熱・気密・日射遮蔽	0.102	0.416	0.262	-0.268	-0.081	0.477
7 自然採光	0.019	0.146	0.313	-0.047	-0.095	0.416
8 自然換気・通風	0.117	-0.264	0.373	0.848	-0.206	-0.218
9 太陽熱利用・太陽光利用	0.441	-0.174	0.19	0.038	0.494	0.343
10 高効率機器使用・制御管理システム	0.774	0.303	-0.113	-0.409	0.839	0.292
11 未利用エネルギーの活用	-0.035	-3.06	-2.966	-0.991	3.037	-1.15
12 良質な環境計画	0.051	0.147	0.223	0.018	-0.11	0.492
13 都市の魅力アップ	-3.14	0.514	1.819	-3.711	0.038	-0.742
14 歴史の保存と再生	-4.374	3.822	-4.289	3.091	2.226	1.587
15 地場産材の活用	-0.906	0.451	-1.066	0.434	-2.746	-2.008
16 屋上緑化	0.325	-2.523	-2.253	-0.753	-2.53	1.93
17 大気汚染・CO2排出抑制	1.525	0.791	-0.703	-0.175	0.508	-3.216
固有値	0.135	0.112	0.063	0.05	0.045	0.041
寄与率	22.36	18.451	10.448	8.295	7.48	6.843
累積寄与率	22.36	40.811	51.258	59.553	67.034	73.877

1:環境負荷の少ない材料を使用 2:耐久性のある材料を使用 3:再利用可能な資材活用 4:スケルトン・インフィル 5:維持管理を容易にする建築設備計画 6:断熱・気密・日射遮蔽 7:自然採光 8:自然換気・通風 9:太陽熱利用・太陽光利用 10:高効率機器使用・制御管理システム 11:未利用エネルギーの活用 12:良質な環境計画 13:都市の魅力アップ 14:歴史の保存と再生 15:地場産材の活用 16:屋上緑化 17:大気汚染・CO2排出抑制

図2 項目別負荷量の相対(1軸, 2軸, 3軸)

図3 1-2軸 2次元グラフ

図4 代表的な8事例のプロット図(1-2軸)

これにより、「社会との関わり」のグループと、「人と技術」のグループの特性を確認することができた。一方、スケルトン・インフィルを採用した「ネクスト21」が第4象限に位置し、「高循環・ライトネス」のグループの特性を確認することができた。

3-2. 1-3成分軸を用いたSD手法の特性分析

同様に、図5に示すように各SD手法の1-3成分軸による散布図を作成し、その分析を行うとともに、事例による確認を行った。SD手法の散布図から、①歴史の保存と再生や地場産材の活用、屋上緑化、未利用エネルギーの活用といった「社会・歴史・風土」に関するグループ、②太陽熱利用・太陽光利用、高効率機器使用といった「人と技術」に関するグループ、③都市の魅力アップ、環境負荷の少ない材料を使用、再生可能な資材活用といった主に「経済」に関するグループの3つのグループにSD手法の特性を明らかにすることができた。この散布図の分布結果から、第3成分は、サステナブル建築における「歴史・風土 ⇄ 経済」の対照的な2つのベクトルを表すものと考えられ。

代表的な8事例を選びそれらを1-3成分軸上に散布すると、図6のような結果となった。第3象限には、社会や歴史・風土との関わりが強い「深沢環境共生住宅」、「ライヒスターク」、「エコロニア」が位置しており、第1象限及び第4象限には、太陽熱や太陽光を発電・給湯などに積極的に活用した「ミレニアムビル

図5 1-3軸 2次元グラフ

図6 代表的な8事例のプロット図(1-3軸)

ジ」の他、スケルトン・インフィルを採用した「ネクスト21」、高層建築である「コメルツバンク」が位置しており、第2象限には、経済性の高いリサイクル材料や環境負荷の少ない材料を建材として多用した「シュトゥットガルト幼稚園」が位置している。その結果、それぞれの象限において、「社会・歴史・風土」、「人と技術」、「経済」に関するグループの特性を、それぞれ確認することができた。

4. 用途・規模・地域別サステナブル建築の特徴

次に、3. で明らかになったSD手法における3つの特徴的な軸性による6つのベクトル（「社会⇄技術」、「高循環・ライトネス⇄ロングライフスパン・ロバストネス」、「歴史・風土⇄経済」）を踏まえ、用途別・規模別・地域別にサステナブル建築の特性を明らかにする。数量化3類の分析結果のうち、寄与率が高かった成分1と成分2を用い、135の事例を1-2成分軸上にプロットすることで、用途・規模・地域別のサステナブル建築の特性を分析した。

4.1. 用途別分析

事例を用途別に散布図として示した結果を図7に示す。用途別にサステナブル建築の特性を分析すると、集合住宅のグループでは、第2象限から第3象限にかけての分布が多く、比較的社会との関わりが強く、技術との関わりが低いことが明らかになった。

図7 1・2軸2次元グラフ(用途別)

図8 1・2軸2次元グラフ(規模別)

図9 1・2軸2次元グラフ(地域別)

一方、2軸方向には広く分布する傾向にあり、集合住宅においては、ロングライフスパン・ロバストネスの傾向を持つサステナブル建築と高循環・ライトネスの傾向を持つサステナブル建築との双方があることが分かった。また、事務所建築のグループでは、その多くが第1象限に分布しており、高層化、高効率の設備機器の採用などにより、技術依存度が高いことを高いことを裏付ける結果となった。美術館・学校などの公共施設においては、全体的に分散化する傾向にあり比較的特徴が弱いことが明らかになった。これは、近年、公共施設の多くが、複合化・多様化する傾向にあることを示していると考えられる。

4.2. 規模別分析

事例を規模別に散布図として示した結果を図8に示す。規模別にサステナブル建築の特性を分析すると、「Small」、「Medium」の比較的小規模の小さいグループは、第2象限から第3象限にかけて多く分布するのに対し、「X Large」、「Large」の比較的大規模の大きいグループでは、第4象限から第1象限にかけて多く分布することが明らかになった。この結果より、規模の小さいものから規模が大きくなるに従って、技術依存度が高くなる特性が明らかになった。また、同様に、規模が大きくなるにつれてロングライフスパン・ロバストネスの傾向が強くなることが明らかになった。これは、大規模建築ほど、学校やホールなど公共性の高い建築が多く、建物の耐久性が求められた結果であると考えられる。

4.3. 地域別分析

事例を地域別に散布図として示した結果を図9に示す。地域別にサステナブル建築の特性を分析すると、第2象限にイギリスのグループが分布し、イギリスのサステナブル建築においては、社会との関係性が強く、かつロングライフスパン・ロバストネスの傾向があることが明らかになった。また、ドイツのグループでは、主に第3象限に分布し、技術依存度が低く高循環型の傾向がある「ドイツI」と、主に第1象限に分布し、技術依存度が高く、ロングライフスパンの傾向が強い「ドイツII」の2つの傾向が明らかになった。これは、ドイツの現代建築におけるデザイン特性(ローテク・低負荷の「パウビオロジー」=「ドイツI」、ハイテク・高効率の「ハイテックスタイル」=「ドイツII」)と合致する結果となった。一方、日本のグループにおいては、第3象限から第4象限にかけて広く分布する傾向にあることが明らかになった。全体として中庸であるが、高循環型の傾向が現れており、「スクラップ・アンド・ビルド」に象徴される日本における建築産業の傾向を読み取れるのではないかと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、延べ650事例のサステナブル建築を収集し、欧州及び、日本における135の事例を抽出した。135の事例とJIAによる32項目の分類を元に、SD手法を17項目の分類に再構成した。また、そのSD手法について、数量化3類による多変量解析を行い、項目ごとの負荷量を明らかにした。次に、その結果をグラフ化し、サステナブル建築の特性を考察した。その結果、サステナブル建築に用いられるSD手法には「社会 ⇄ 技術」、「高循環・ライトネス ⇄ ロングライフスパン・ロバストネス」、「歴史・風土 ⇄ 経済」という、3つの特徴的な軸性による対照的なベク

トルがあることが明らかになった。また、代表的な 8 つのサステナブル建築の事例をそれぞれの特徴軸空間上に散布して示すことにより、事例を通じて導いた 3 つの特性を確認した。更に、収集した事例を用途別・規模別・地域別に分類した上で、それらと同じ 1-2 成分軸上に散布して示し、そこから、用途別、規模別、地域別のサステナブル建築のデザイン特性について明らかにした。

以上より、サステナブル建築については、いくつかの SD 手法が相互に組み合わせられることで、建築を持続可能にしていることが明らかになった。また、SD 手法の組み合わせ方によって、それぞれ特徴的な建築事例となっていることが明らかになった。更に、その傾向を用途別、規模別、地域別に明らかにした。こうした関係性は、経験的には知られているものであるが、今回の SD 手法の分析によって、サステナブル建築のデザイン特性を明確にした。

本研究では、欧州及び日本のサステナブル建築の事例を通じて SD 手法の分析を行いその特性を明らかにした。今後は、アジア諸国、米国などの事例を対象とするほか、戸建住宅等についても対象とすることで幅広く地球規模での事例収集・分析を行い、サステナブル建築のデザイン特性の詳細な分析と体系化を試みたい。

注釈

注 1) ライトネス(Lightness)

「高循環・ライトネス」、「ロングライフスパン・ロバストネス」の表現は、いずれも建築の物理的な寿命だけでなく、社会的な寿命に関する言葉として用いた。「ライトネス」は、直訳すれば「軽いこと、軽さ、軽微さ」の意味であるが、本稿では物理的な「軽さ」だけでなく、「環境負荷が軽負荷であること」や、「建築的なフロー (flow)」の意味で用いた。

注 2) ロバストネス(Robustness)

「ロバストネス」は、直訳すれば、「強靱性、耐久性、耐力」の意味であるが、本稿では物理的な「耐久性」だけでなく、「建築的なストック (stock)」の意味で用いた。ここで、「耐久性」について、物理的な耐性を示す「デューラブル (durable)」ではなく、(経済などの)健全性や強靱性を示す「ロバストネス(robustness)」を用いた理由は、単に物理的な耐性(物理的な寿命)を示すだけでは、サステナブル建築とは成りえないという村上・白石論文の趣旨を尊重したことによる。

参考文献

- 1) Our Common Future : WCED: World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, 1987
- 2) Declaration of Interdependence for a Sustainable Future, UIA / AIA World Congress of Architects Chicago, 1993.6
- 3) OECD2001 : Sustainable Development Critical Issues, OECD, 2001
- 4) 村上周三編著, 村上周三, 和泉洋人, 野城智也, 安藤尚一, 長谷川貴彦: サステナブル建築と政策デザイン, 慶應義塾大学出版会, 2002
- 5) OECD2003: Environmentally Sustainable Buildings Challenges and Policies, OECD, 2003
- 6) 新日本建築家協会編: サステナブル・デザインガイド - 生き続ける建築のデザイン, 彰国社, 1995
- 7) サステナブル・ビルディング普及のための提言: 日本建築学会地球環境委員会 サステナブル・ビルディング小委員会, 1999
- 8) 村上周三, 白石靖幸: 建築における持続可能性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, P853-854, 1998.9
- 9) 新建築: 建築 20 世紀 PART1, PART2, 新建築社, 1991
- 10) エミリオ・アンバース: グリーン・オーバー・ザ・グレー, 建築文化, 57-90, 1995
- 11) Thomas Herzog : Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel Verlag, 1996
- 12) a+u : 特集サステナブル・アーキテクチャ サステナブル・エンヴァイロメント, 『a+u』9705, a+u Publishing, 1997
- 13) Peter Murray and Mary Anne Stevens : New Urban Environments, The Royal Academy of Arts, London and Prestel-Verlag, 1998
- 14) Ed Melet : Sustainable Architecture, NAI Publishers, 1999
- 15) Miguel Ruano : Eco Urbanism, Editorial Gustavo Gili, 1999
- 16) キャサリン・スレッサー著, 難波和彦監訳: エコテック 21 世紀の建築, 鹿島出版会, 1999
- 17) 鹿島出版会: 環境共生の現在, 『SD』9901, 1999
- 18) 日経 BP 社: 「欧州に学ぶ建築転生術」, 『日経アーキテクチャー』, 12-13],

- p32-p83, 1999
- 19) 日経 BP 社: 「エコデザイン」, 『日経アーキテクチャー』, 3-6], p37-p73, 2000
- 20) 日経 BP 社: 「環境デザイン 2000」, 『日経アーキテクチャー』, 12-25], p24-p54, 2000
- 21) 日経 BP 社: 「環境時代のグローバルデザイン」, 『日経アーキテクチャー』, 6-25], p60-p87, 2001
- 22) 日経 BP 社: 「今こそ建物緑化」, 『日経アーキテクチャー』, 10-29], p52-p83, 2001
- 23) 日経 BP 社: 「環境デザイン 2001」, 『日経アーキテクチャー』, 12-10], p8-p40, 2001
- 24) 日経 BP 社: 「ガスタンクを複合施設に」, 『日経アーキテクチャー』, 2-18], p19-p21, 2002
- 25) 日経 BP 社: 「環境包囲網を突破せよ」, 『日経アーキテクチャー』, 5-27], p54-p77, 2002
- 26) 日経 BP 社: 「強大な日陰をつくる発電ルーバー」, 『日経アーキテクチャー』, 7-22], p8-p13, 2002
- 27) 日経 BP 社: 「自然力を高める」, 『日経アーキテクチャー』, 10-14], p50-p82, 2002
- 28) 日経 BP 社: 「環境デザイン 2002」, 『日経アーキテクチャー』, 11-11], p52-p85, 2002
- 29) Architectural Design : Green Architecture, Architectural, Vol71/No.4 July, John Wiley & Sons Ltd., 2001
- 30) Dominique Gauzin-Muller : Sustainable architecture and urbanism, Birkhauser, 2002
- 31) Solar Architecture : DETAIL, 2002.06, DETAIL, 2002
- 32) 日本建築学会: 『地球環境建築のフロンティア』0302, 日本建築学会, 2003
- 33) エコロジーと建築: 『建築雑誌』 Vol.99, 日本建築学会, 1984
- 34) 川村健一, 小門裕幸: サステナブル・コミュニティ, 学芸出版社, 1995
- 35) Sophia and Stefan Behling : Sol Power, Prestel Verlag, 1996
- 36) Richard Rogers and Phillip Gumuchdjian : Cities for a Small Planet, Faber and Faber Limited, 1997
- 37) Glass & Architecture 1998 春: 「エコロジーとテクノロジー」, 『Glass & Architecture』, 旭硝子株式会社, 1998
- 38) Glass & Architecture 1998 夏: 「ジャパン・エコロジカル・アーキテクチャ」, 『Glass & Architecture』, 旭硝子株式会社, 1998
- 39) Hildebrand Frey : Designing the city, E&FN Spon, 1999
- 40) Richard Rogers and Anne Power : Cities for a small country, Faber and Faber Limite, 2000
- 41) Brian Edwards, David Turrent : Sustainable Housing, E&FN Spon, 2000
- 42) Earth Pledge Foundation Edit : Sustainable Architecture White Papers, Earth Pledge Foundation, 2000
- 43) Peter Hall and Ulrich Pfeiffer : Urban Future 21, E&FN Spon, 2000
- 44) 岩村和夫監修, 日本建築家協会, ビオシティ編: サステナブル建築最前線, ビオシティ, 2000
- 45) Mike Jenks and Rod Burgess : Compact Cities, Spon Press, 2000
- 46) Gert de Roo and Donald Miller : Compact Cities and Sustainable Urban Development, Ashgate Publishing, 2000
- 47) Katie Williams, Elizabeth Burton and Mike Jenks : Achieving Sustainable Urban Form, E&FN Spon, 2000
- 48) Antonia Layard, Simin Davoudi and Susan Batty : Planning for a Sustainable Future, Spon Press, 2001
- 49) Guy Battle, Christopher McCarthy : Sustainable Ecosystems, Wiley-Academy, 2001
- 50) Glass & Architecture 2002 夏: 「コンバージョン」, 『Glass & Architecture』, 旭硝子株式会社, 2002
- 51) 日本建築学会編: 地球環境建築のすすめ, 彰国社, 2002
- 52) Arian Mostaedi, Carles Broto, Josep Ma Minguet : Sustainable Architecture low tech houses, Gingko Press, 2002
- 53) Arian Mostaedi, Carles Broto, Josep Ma Minguet : Sustainable Architecture high tech housing, Gingko Press, 2003
- 54) Ed van Hinte, Marc Neelen, Jacques Vink, Piet Vollaard : Smart Architecture, 010Publishers, 2003
- 55) Marc Emery, Luciana Ravel : Innovation Durables Appropriate Sustainability, Birkhauser, 2003
- 56) Randall Thomas : Sustainable Urban Design, Spon Press, 2003
- 57) Terry Williamson, Antony Radford, Helen Bennetts : Understanding Sustainable Architecture, Spon Press, 2003
- 58) 資源循環型住宅技術開発プロジェクト編著, 清家剛・秋元孝之監修: サステナブルハウジング, 東洋経済新報社, 2003
- 59) Raymond J. Cole : 「Assessing the Shift from Green to Sustainable」, 『都市・建築のサステナブル・デザイン』/「未来都市の生態恒常性工学」国際ワークショップ, 豊橋技術科学大学, 2003
- 60) Glass & Architecture 2003 春: 「サステナブル・アーキテクチャの射程」, 『Glass & Architecture』, 旭硝子株式会社, 2003

延べ 650 件のサステナブル建築の事例は、9) から 60) までの文献より収集した。

謝辞

本研究は、慶應義塾大学 21 世紀 COE プログラム「知能化から生命化へのシステムデザイン」の助成を受けて行ったものである。この場を借りて、お礼申し上げる。

(2004 年 4 月 10 日原稿受理, 2004 年 11 月 24 日採用決定)