

## APLとOR(6)

# 建築計画における人間行動のシミュレーション

渡辺 仁史

### 1. はじめに

建物の設計を進めていくうえで、単に外観の意匠的なことに配慮するだけでなく、構造の力学的安全性や施工のしやすさ、さらには建物を利用する人々にとっての使いやすさ等、かなり多くの決定や評価を行なう必要がある。

設計者は、これらを総合的に配慮しながら計画案を作成していく。構造・設備といった技術的分野に関しては、ある程度客観的に評価できる体系ができあがっているものの、使いやすさとか快適性といった人間側の要因の評価に関しては、現在までのところ、設計者の経験や勘に頼る部分が多い。

延々と長い行列を作っている食堂の食券売場、いつまでたっても来ないエレベータ、どちらに行けばよいのかわかりにくい展示会場など、施設を利用するうえでのさまざまな問題が現実には発生している。

このように、人間が社会生活を営んでいくうえで、利用者の立場から建物の計画が十分練られていなかったために、ずいぶん不愉快な思いをさせられることがしばしば見受けられる。

このような問題を解決するためには、適正な規模の建築面積、適正な収容人員、わかりやすい配置計画が必要となる。そして、その評価のひとつとして人間の行動がとりあげられる。

もし、実際に建物が完成する前に、つまり計画案を立案している段階で、その建物を利用するであろう人々の動きがあらかじめ予想されていれば、計画上の失敗を未然に防ぐことができるわけである。このためには、人間の行動をシミュレートするモデルを作成する必要がある。

人間の行動をシミュレートすると言っても、そうたやすいことではない。人間の1日の生活を考えてみても、起床から洗面、朝食、出勤…とその内容は多岐にわたっ

ている。ここでは、それら一連の人間の行動をすべて忠実にトレースしようとするのではなく、設計を進めていくうえで関係の深い行動だけをとりあげて、その現象だけをトレースできるようなモデルを考えている。

### 2. APLの建築計画への応用

建築計画の分野にコンピュータが利用されるようになってから10年以上になろうとしているのに、一向に普及していないのが現状である。その原因のひとつは、なじみにくさにあると思われる。機械そのものに対する操作の面倒なことやプログラミング言語の使いにくさは、どちらかと言うと創造的な作業を主とする設計者にとっては大きな壁であった。

しかし、最近になって一般的になってきた対話型コンピュータシステムやパーソナルコンピュータの発達によって、ハード面ではかなり改良されコンピュータ自体が身近な存在になってきた。言語に関してもインタープリティブなBASIC言語によってソフト面でも改良されてきたものの、まだ本質的な解決にはなっていない。

これに対し、APL言語は、プログラミングの思想、変数の扱い、ファイル管理等においてハード・ソフト両面に対して強力なシステム言語であり、建築計画への適用の可能性を多く含んでいる。

現在のところわが国では、APL言語はIBMのポータブルコンピュータ以外には、大型コンピュータのもとで動いているため、建築計画関係者にはまったくなじみがないと言ってもよい。そこで、パーソナルコンピュータのCP/Mのもとで動くソフトが普及すれば、利用者はかなり増えるものと思われる。

建築計画へのAPL言語の応用は、設計情報の処理はもちろんのこと、マトリックスとして表現される地域メッシュデータの処理、さらにはインタラクティブな機能を要求される行動のシミュレーションやグラフィックスにおいて特に有効である。そして、計画の問題になじみやすだけでなく、プログラム開発時間が相当短く

わたなべ ひとし 早稲田大学

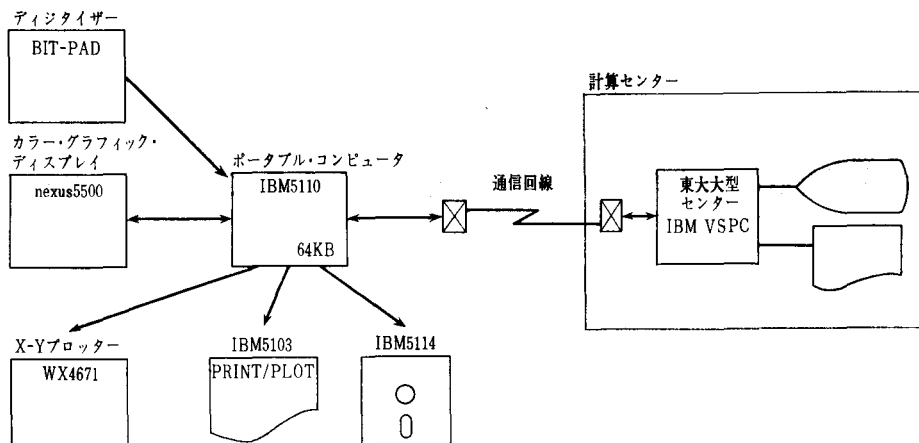


図1 APLによるシステム構成 (早稲田大学渡辺仁史研究室)

て済むことは、設計者の負担を軽くする点で有意義である。

現在、筆者が使用しているAPL言語に関連したシステム構成は図1のとおりである。

### 3. 建築計画とシミュレーション

#### 3.1 シミュレーションの位置づけ

建物の使われ方を建築が施工される前に予測しておくことの意義は先に述べたとおりであるが、このためにシミュレーション手法が用いられる。これまでも、博覧会での展示館の規模決定とか、高層オフィスビルにおけるエレベータ台数の算定にシミュレーションが適用されたことがあるが、いずれも待ち行列が発生するような施設が中心であった。そこで用いられたコンピュータ言語は、FORTRANの他にGPSSやDYNAMOといったシミュレーション専用言語であった。GPSS (General Purpose System Simulator) は、待ち行列の処理に適しているだけでなく、トランザクションとブロックという概念が、建築における人間と空間とにうまく対応しており、モデル化しやすいことがあげられる。また、DYNAMO (DYNAmic MOdel) は、人間ひとりひとりを表現するというよりも、人間を群衆として水の流れるように扱う場合に適しており、大規模施設での多人数の流動予測に用いられた。

最近になって、人間の行動予測は、建物に災害が発生した場合に人々が安全に避難拠点まで脱出できるかどうかを検討するうえで、特にその必要性が叫ばれている。避難行動を扱う場合には、単に人の流れをモデル化するだけではなく、パニックといった人間の心理的な内容までも反映させる必要があるため、従来のシミュレーシ

ョン専用言語では記述がむずかしかった。

このように、シミュレーションに当ってはプログラミングの問題だけではなく、人間の不確実な要因をどうやってモデル化するかということと、シミュレーション結果から設計へどうフィードバックさせるかという考え方が重要な課題である。

#### 3.2 人間行動のモデル

これまでに提案され試みられたシミュレーションで用いられた行動モデルは、大別すると2つある。ひとつは調査等によってあらかじめ人間の施設間の移動パターンが明らかになっている場合で、各施設間の移動確率をもとにモンテカルロ法によって、次々に新しい行動を発生させるというやり方である。このモデルは、病院における看護婦や患者の移動のように、ある程度行動順序に規則性があり、部屋相互間の移動距離をできるだけ短くなるように部屋の配置を検討するとき、あるいは、すでに完成している施設において、レイアウトを変更しようとするとき人の流れがどう変化するかを予測するときには有効である。

これに対し、あらかじめ行動特性がはっきり得られないような施設で行動シミュレーションを行なう場合には、演繹的にモデルを作成する必要がある。これは未だ確立された手法はなく、さまざまな考え方が提案されている時期であるが、ひとつの考え方は次のようなものである。つまり部屋の規模・位置・混雑状況といった建築空間側の情報を入力とし、そのときの人間の状態 (疲労・空腹等) によって、次にとるべき行動内容を決定させるという方法である。本文では、後者の考え方による行動シミュレーションの例を紹介する。

しかし、現在までのところ、行動モデルで扱う人間は

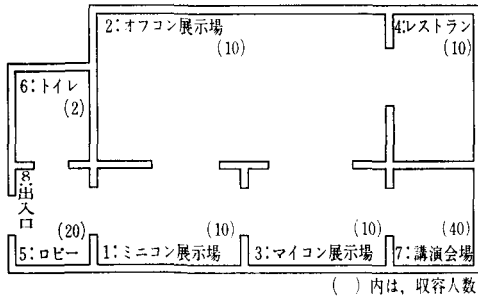


図 2 展示会場の部屋構成

多少個性のようなものも含まれてはいるものの、一般には礼儀正しい素直な人間である。他人を押し回して待ち行列の先頭に並ぶこともないし、勝手に展示物の位置を変えたりはしない。そこまでモデルに反映させなくても建築計画の評価は十分行なえるし、簡単なモデルによる評価のほうが、計画案の検討には有効な場合が多い。

#### 4. 展示会場における行動シミュレーション

##### 4.1 行動モデルの考え方

ある施設の中を人々が移動しながら、その行動目的を達成するものには、美術館・博物館・水族館といった建物から、動物園・遊園地・博覧会といった観覧会場までさまざまなものがあり、いずれも各展示物あるいは展示館をどこにどのような順序で配置するかが最大の課題となっている。加えて、移動をとまなうことから当然疲労した場合の休息所あるいは手洗いといったサービス施設をいくつどこに設けるかも設計のポイントとなる。

そこで、これらの施設に共通な見学行動および休息・食事といった行動をシミュレートするため、図2に示すようなあるコンピュータショウの会場を想定して、モデルを作成した。

このモデルで扱う人間は、ひとりひとりを区別し、それぞれに会場内展示物に対する興味が異なっており、この興味の大きさにしたがって会場内を移動するものとし

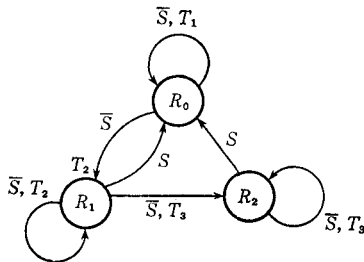


図 3 生理欲求の状態遷移図

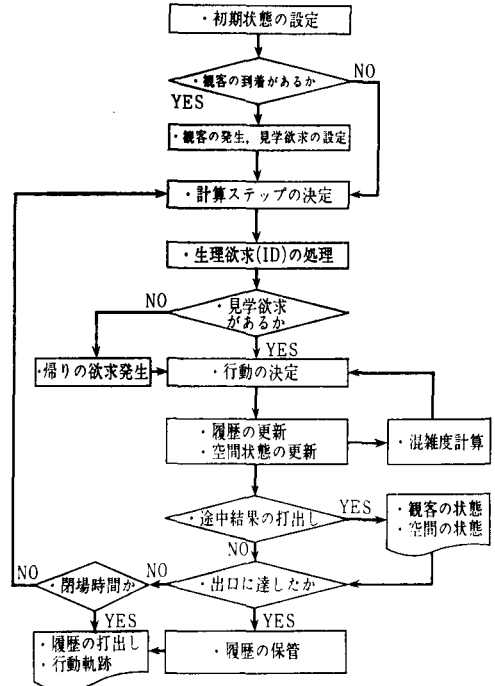


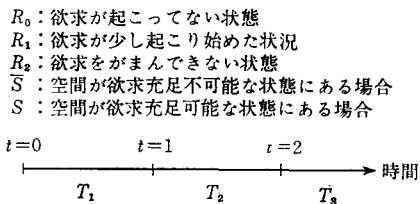
図 4 シミュレーションのフローチャート

た。これを見学欲求と名づけたが、この欲求の大きさが部屋の選択順序と同時に、その展示室での滞在時間を決定している。

一方、来場者は見学の途中に疲労のため休息したり、空腹で食事をしたりという行動をとるが、これを再現させるため、生理欲求を考えた。生理欲求は、排泄欲求・食欲求・休息欲求の3つから成るものとし、この欲求状態が強い場合には、見学欲求に優先して最短経路で各欲求を満たしてくれる部屋(トイレ・レストラン・ロビー)に行くものとした。この欲求状態の遷移は、図3に示すものである。

##### 4.2 シミュレーションの実行

この展示会場における観客のシミュレーションに関し



NAHOMEL1

NETWORK AUTOMATA MODEL VERSION-I

CMD; GENER - GENERATE THE XACT  
 NEXT - CALUCURATE THE NEXT STEP  
 PRINT - PRINT OUT THE XACT  
 HIST - HISTOGRAM OF USAGE  
 CHAIN - PRINT OUT THE CHAIN  
 TOMR - " THE BEHAVIOR  
 STOP - STOP THE SIMULATION

CMD:GENER  
 ENTER XACT'S CHARACTER (END=0)  
 1:MINI CON 2:OFFICE CON 3:MICRO CON 4:SYMPOSIUM  
 T:TOILET E:APPETITE R:REST

1 2 3 4 T E R  
 +:0 8 8 0 5 0 0  
 +:5 0 8 9 0 0 0  
 +:7 7 7 0 5 0 9  
 +:0

CMD:NEXT 3

CMD:PRINT

XACT STEP=4  
 0 8 7 0 0 0 0 0 0 0 0 3  
 3 0 0 0 0 0 9 0 0 0 0 1  
 6 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 1

CMD:CHAIN

CHAIN STEP=4  
 80000880 50000880 10000880 30000880 30000870  
 80005009 50005009 10005009 10004009 10003009  
 0 80007770 50007770 10007770 10006770

CMD:NEXT 10

CMD:HIST

NUMBER OF XACT AT ZONE UNIT(0)= 1

1 10 0000000000  
 2 7 00000000  
 3 5 000000  
 4 0  
 5 3 000  
 6 0  
 7 2 00  
 8 0

CMD:TOMB

TOMR STEP=19

4 12 80000007 50000007 10000007  
 70010005 70010004 30010000  
 4 13 80000033 50000033 10  
 30000013 70000003 70000000  
 50010000 80010000 0 18 80  
 10004009 10003009 1000200  
 70000008 70000007 70000000  
 10010003 50010003 80010000  
 10009000 10008000 1001700  
 50013000 80013000

CMD:NEXT 20

CMD:STOP

XACT'S LIST (YES/NO)?

YES

図 5 シミュレーションの実行例

GENERATE;A

[ 1] GTITLE  
 [ 2] IN:+(0=+/A+LPRM '+')/0  
 [ 3] XACT+XACT,[1](7+ 1 1 1 0 0 1 1 1 1 \A), 0 0 0 0 8  
 [ 4] FLG+FLG,[1] AC4+133  
 [ 5] CHAIN+((1+XACT),(1+CHAIN))XCHAIN  
 [ 6] CHAIN1+CHAIN;1+CHAIN+80000000+1 1 0 1 0 1 0 1 /+4+A  
 [ 7] +IN

OUTPUT;DUM

[ 1] +(2=I/ID)/MIN  
 [ 2] +(3=+/ID)/MIN2  
 [ 3] +((1S+/ID)^(PD(8)=100))/MIN3  
 [ 4] +(PDFL=1)/0  
 [ 5] CROWD  
 [ 6] DUM+PD+0=PD  
 [ 7] DUM+DUM\*CRU\*CONTEPNUM;]  
 [ 8] +(0=+/DUM)/0  
 [ 9] SPNUM+DUM\I/DUM  
 [ 10] +0

[ 11] MIN:DUM+ID\2  
 [ 12] SPNUM+HP[SPNUM;DUM]  
 [ 13] +0  
 [ 14] MIN2:DUM+ID\1  
 [ 15] SPNUM+HP[SPNUM;DUM]  
 [ 16] +0  
 [ 17] MIN3:SPNUM+HP[SPNUM;4]

CROWD

[ 1] CRU+XACT;12]  
 [ 2] CRU+1>(+/CRU\*.18)CAPACITY

HIST;N;FREQ;M

[ 1] N+8  
 [ 2] FREQ+1+/(1+N)\*.1+L.CHAIN;T]/10000000  
 [ 3] M+1+L(I/FREQ)/50  
 [ 4] 'NUMBER OF XACT AT ZONE UNIT(0)=', 2 0 +M  
 [ 5] (4 0 +b(2,N)p(18),FREQ), ' ' ' ' [1+M\*.2]/(M+L[FREQ+M])]

図 6 APL言語によるプログラミングの例

→ 時間 HISTORY OF XACT NO.27 ENTRY TIME: 4 → 時間

0	...	5	...	10	...	15	...	20	...	25	...	30	...	35	...	40	...
1	...	8511111111158	...														
2	...	851222222132158	...														
3	...	85137777773158	...														
4	...	85111113333373158	...														
5	...	851222222132158	...														
6	...	8513333777773158	...														
7	...	8513333332222158	...														
8	...	851333332222158	...														
9	...	8513332221332158	...														
10	...	851111122222158	...														
11	...	855551222132158	...														
12	...	8511111222222158	...														
13	...	85133333332158	...														
14	...	855111122222158	...														
15	...	85122221377773158	...														
16	...	85555111132222158	...														
17	...	8511111133337777315658	...														
18	...	85133332222137777315658	...														
19	...	851111113777777315658	...														
20	...	8551111133337777315658	...														
21	...	8555551222215651222158	...														
22	...	8555551133333222215658	...														
23	...	855555122221377777315658	...														
24	...	8551222221377777315658	...														
25	...	851111133337777315651222155132158	...														
26	...	851111133337777322215651322155132158	...														
27	...	85111111377777322215651222215513158	...														

図 7 シミュレーション結果 (27人の観客の利  
用部屋リスト)

456789012345678901234567890123456789012	
S 85111111377777322215651222215513158	— 空間名
R 0000000000000000000000000000000000	— 休息欲求
E 0000000000000000000000000000000000	— 食欲求
T 0000000000000000000000000000000000	— 排泄欲求
1 7776543210000000000000000000000000	— ミニコンに対する欲求
2 8888888888888888888888888888888888	— オフコン
3 0000000000000000000000000000000000	— マイコン
7 7777777777765432100000000000000000	— シンポジウム

図 8 27番目の観客の行動履歴

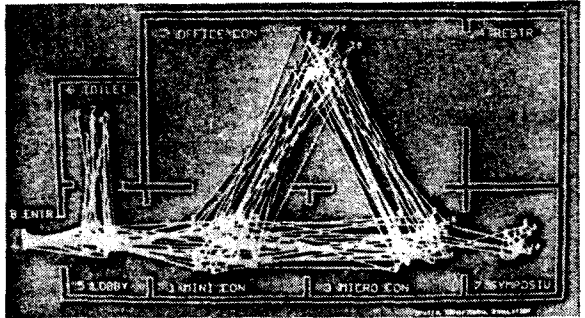


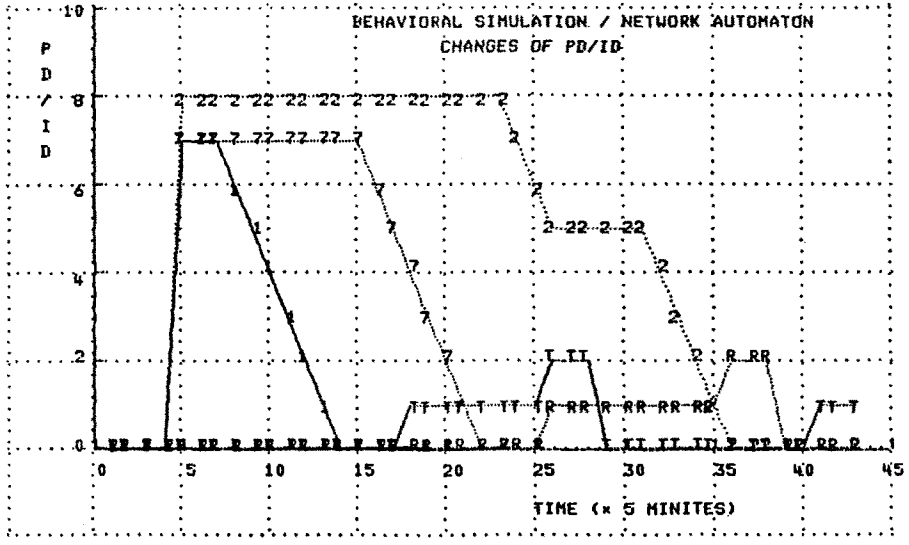
図 10 シミュレーション結果のグラフィックディスプレイ

ては、文献[1]に示すように、1日分の内容を計算することが可能であるが、本稿ではAPL言語によってインターラクティブにシミュレーションを実行するプロセスを中心に述べる。

シミュレーションのプロチャートを図4に示すが、初期状態の設定、観客ひとりひとりの個性(見学欲求の程度)は、すべてインターラクティブに与えている。さらにシミュレーションの進行もコマンドで入力するようにしたため、計算の途中で会場の使われ方や観客の状態

をプリントアウトすることが可能である。このやりとりの例を図5に示す。

なお、APL言語によってプログラミングした関数をいくつか図6に示すが、いずれもFORTRANでは、数百ステップになるものばかりである。特に、観客数が時刻とともに変化するが、これをマトリックスの結合や、要素の取り上げ(↑)、落とし(↓)によって処理できたことで、全体を簡潔に表現できた。



HISTORY OF XACT NO.27 ENTRY TIME: 4

図 9 27番目の観客の欲求状態の変化



\*\*\* HINAN KEISAN \*\*\*

T	I	O	Q	*:IN	o:OUT	UNIT:1
1	1	1	0	@		
2	4	4	0			
3	9	7	2			
4	16	10	6			
5	24	13	11			
6	30	16	14			
7	34	19	15			
8	36	22	14			
9	36	25	11			
10	36	28	8			
11	36	31	5			
12	36	34	2			
13	36	36	0			

MAXIMUM QUEUE IS 15

(b) 階段幅員 1.8 m の場合

ここでは、階段の通路幅員を決定するシミュレーションの例を示す。これは従来、避難計算として安全性の検討の際行なわれていたものである。図11に示すような居室にいる人が階段から全員避難する状況をシミュレートするものである。

この避難モデルは、APLでプログラミングした4つの関数から成っている。

HINAN	入出力のコントロール
GENERATE	平面形状の作成
DISTANCE	階段までの距離分布の計算
REFUGE	避難計算

このうち、最も主要な部分である避難計算のための関数を図12に示す。このモデルにより、階段の幅員を1.2 mにした場合と、1.8 mにした場合の2ケースについてシミュレーションを実行した結果が図13である。この結果から幅員を0.6 m広げると、避難完了時間は6秒少なくなり、また最大待ち行列の大きさも30%小さくなっていることがわかる。

6. 行動シミュレーションの展望

人間の行動をシミュレートして計画に応用しようとする研究は、まだ始まったばかりであり、モデルの妥当性の検討・実用性の検討等まだまだ解決しなくてはならない問題を多く含んでいる。

特に人間の行動そのものに関する調査例をもっと増やし、行動と施設との関係を明らかにすること、モデル作成のために他の学問分野の成果を適切に導入すること、行動シミュレーション特有の言語を開発すること、などが考えられる。

そのひとつの例として、APL/GPSS がリリースされているが、専用シミュレーション言語がAPL環境のもとで動くことは、さらに利用しやすくなると思われる。APL/DYNAMO の出現も望まれる。

われわれは、建築計画でのAPLの使いやすさを示すために、Architectural Planning Languageと名づけた。

参考文献

- [1] 位寄和久：建築空間における人間の行動モデル、オペレーションズ・リサーチ 第27巻第2号、1982、89-97
- [2] 中村良三・渡辺仁史・位寄和久：APLによる建築計画技法、オーム社、1981
- [3] 松田正一：システム理論序説、オーム社、1971
- [4] 渡辺仁史：空間と人間行動、新建築学大系11環境心理、彰国社、1981、153-234
- [5] 渡辺仁史：建築計画と行動シミュレーション、カラム、No.60、1976、15-19

研究部会報告



● 未来分析 ●

● 第3回 日時：9月11日(土) 14:00~17:00

場所：東京都勤労福祉会館

議題：職商い国家日本の命運、井上喜代重

出席者：12名

未来分析研究部会のアプローチメソッドロジーとして「日本の社会を支配している本質的要因を煮詰めることによって日本の将来の社会システムにどのような変化があるかが演えきできるはず」との観点に立っている。今

回の発表により社会構造の本質的メカニズムの分析が行なわれ、それを日本と外国との対比によって特性を浮彫りにした点、国内問題を考える場合でもまた対外政策を考える場合にもきわめて示唆に富むものがあった。

● 第4回 日時：10月16日(土) 14:00~17:00

場所：東京都勤労福祉会館 参会者28名

議題：安全保障の原点を考える。

中川八洋 (筑波大学)

安全保障の問題は、観念論が横行し、実体としてその本質を探る論説はほとんどなかったが、この部会においては、相当突っ込んだ点にまで掘り下げられたのは意義のあるものであった。安全保障の問題は、パーフェクトな解決策はないというのが定説であるが、今後の日本を考えるうえにおいて、示唆に富むものが多かった。