

第3章. 経路探索の計算論的モデルの作成

この章では、都市空間の中で人間が行なう経路探索をシミュレートするための計算論的モデルを提案している。それによって、経路探索の実験で提案した、情報の獲得、プラン、発見と迷いなどに対する表現を与え、さらに、わかる場所、迷う場所、サブ目的地の生成、とりあえず行動などを実現することを目的としている。

3.1. モデルの概観

モデルでは、現実世界の都市空間に相当して、場所のネットワークからなる「都市空間ネットワーク(urban space network: USネットワークと呼ぶことにする)」が作成される。これは経路探索の状況を決定的な一つの要素である「装置」となる。一方人間に対しては、経路探索のためのルール(トラベルルールと呼ぶ)をもった「経路探索タートル(wayfinding turtle: WFタートルと呼ぶことにする)」が作成される。こちらは状況設定の中の「役割」に相当する。

計算論的モデルを作成するためのコンピュータ上の言語としては、LOGOを選んでいる。

USネットワークは、経路探索に関する宣言的な知識を「場所(places)」と「リンク(links)」からなるネットワークとしてモデル化して、グラフ表現に写し換えることにする。グラフは計算機上に実現のしやすいデータ構造である。LOGOの持つ特色であるリスト処理の能力は、グラフの表現やそれに対する様々な操作を、理解しやすいかたちで実現することができる。

他方、LOGO言語のもう一つの特色であるタートルグラフィックスを使うと、WFタートルを画面上の仮定の生物であるタートルによって、直観的に理解しやすいかたちで実現することができる。そのWFタートルには、経路探索を駆動する手続き的な知識である「トラベルルール」が能力として与えられる。このトラベルルールは、「IF 条件 THEN 行動」の形式をとったプロダクションルールで表現することができる。さらに、オブジェクト指向のLOGO言語(Object Logo)を用いることで、これらのトラベルルール群を、ある種類のWFタートルがもつ手続きとして定義することができる。そのために、多種類のWFタートルを作成した時にも理解しやすいものとなる。

このように現実世界での経路探索のプロセスは、計算機上でのUSネットワークとWFタートルとの間の情報処理プロセスに移し換えられる。この情報処理プロセスは、WFタートルがトラベルルールを用いてUSネットワークから情報を獲得し、目標を解決するためにプランニングをして(トラベルプランの形成)、それによってUSネットワーク上を移動したり、必要に応じてUSネットワークに変更を加えるというものである。

【推論機構（制御機構）】

1) 評価

1-1) アクセス可能な情報の獲得：現在位置している選択地点から得られるリンク情報の獲得。

1-2) トラベルプランの形成

	トラベルルール名
プロセスの終了	・ I D情報による到着の確認 …ARRIVEDP, NEARP
	・ 方向情報によるフィジカルリンクの選択 …FINDPHYS
サブゴールの生成	・ ターゲット情報のマッチングによるサブゴールの生成 ビジュアルリンクからの選択 …FINDVIS
	サインリンクからの選択 …FINDSIG
	ガイドリンクからの選択 …FINDGUID
	メモリリンクからの選択 …FINDMEM
	・ 代理情報の利用によるサブゴールの生成 …GETSUB

1-3) デフォルトプラン

…GETDEFAULT

※トラベルプランは実験での「Aプラン」に、デフォルトプランは「Bプラン」に相当する。トラベルプランの形成はサブゴールを生成するたびに繰り返し実行される。

2) 実行

2-1) 移動（フィジカルリンクの実行）

2-2) ゴールリンクの変更

2-3) 記憶の変更

この章では、モデルの内容について詳しく述べることになる。まず、宣言的知識であるU Sネットワークについて述べ、次に評価と実行からなる経路探索のプロセスについて説明する。その中で、WFタートルのゴールリンクと手続き的知識であるトラベルルールに言及することになる。この章で示した計算論的モデルを使って、次章では経路探索のマイクロワールドを作成して、さまざまなシミュレーションを行なうことになる。

3.2. 都市空間の表現

3.2.1. 経路探索に関する知識

経路探索のプロセスを情報処理プロセスと考えると計算論的モデルを作成するために、まず経路探索に用いられる知識について明確にしたい。

知識の表現形式として、宣言的(declarative)知識と手続き的(procedural)知識という分類が取られることが多いが、経路探索に関する知識についても、宣言的と手続き的とに分けることにする。一般に、宣言的知識とは事実(facts)について表わし、「～は～である」といった形式で表現できる。宣言的知識を得ることは、ものを知ること(knowing that)と考えることができる。一方、手続き的知識は、何かについてのやり方を表わし、手続き(procedure)つまり一連の操作の列で表わすことができる。手続き的知識は事実についての判断規則であり、それを獲得することは方法を知ること(knowing how)と考えられる。一般に手続き的知識は、IF 条件(condition) THEN 行動(action)のプロダクションルール(production rule)の形で表わすことができる(1)。

経路探索に関する知識の中で、宣言的知識は、都市空間に関する事実としての空間的知識である。ここではそれを「場所(place)」と「リンク(link)」からなるネットワークとして表わし、「U Sネットワーク（都市空間ネットワーク, urban space network）」と呼ぶことにする。場所は、空間的知識を構成する要素であって、名前、形状、用途などのようにその場所自体が特徴として持っている属性をもっている。一方のリンクは、ある場所から他のある場所が到達できるとか、見ることができるといったように、その場所と他の場所との空間的関係(spatial relation)を表わす。

手続き的知識は、経路探索の目的を達成するために場所やリンクの情報を利用するための方法について表わし、「トラベルルール」と呼ぶことにする。「トラベルルール」は、タートルがもっている手続きとして表現することにする。

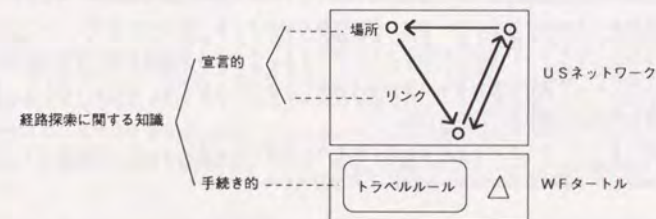


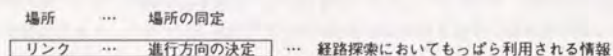
図 3-2. 経路探索に関する知識

この節では、宣言的知識の表現である「U S ネットワーク」について述べ、手続き的知識である「トラベルルール」については、次の3.3節の経路探索プロセスについて述べる中で触れることになる。

3.2.2. USネットワーク

「USネットワーク」は、「場所(place)」と「リンク(link)」からなるネットワークとして表現される。このネットワークは、ラベル付きの有向グラフとなっている。つまり場所をノードとし、その場所のもつ属性はそのノードに付けられたラベルとする。一方、リンクは向きをもったエッジで表わし、リンクの属性はそのラベルとして与えられる。

経路探索のプロセスの中で、場所のもつ属性の情報はその「場所の同定」のために用いられる。たとえば、ある場所の用途はデパートで名前はバルコである、といった情報をその場所の確認のために使うのである。一方、リンクの属性の情報は、ある場所にいるWFタートルが都市空間の中で次に向かうべき方向の決定に用いられる。ただし「進行方向の決定」には、「場所の同定」も必要となるので、場所の属性の情報は繰り返し利用されることになる(2)。



経路探索において重要なことは「どちらの方向に行くか」という進行方向の決定である。したがって経路探索のプロセスの中で、WFタートルによってUSネットワークから獲得され利用される情報は、もっぱらリンクの情報となる。後で示すように実験の中で言及される都市空間についての情報は、いずれもリンクとして表現される。リンクの情報によって進行方向を決定する中で、場所の情報が参照されることになる。ただし、WFタートルはUSネットワークの中の全ての情報を同時に利用できるわけではなく、タートルが位置している場所を通して利用可能な情報の中から引き出すことになる。この利用可能な情報については次の3.3.節で扱う。

3.2.3. 場所

「場所(place)」は、USネットワークを構成する基本的な要素であり、そのノードとなる。現実の都市空間は連続した空間であり、その中でなされる人間の行動も連続的である。けれども経路探索の具体的な状況においては、都市空間の中のどこも一様なのではなく、いくつかの重要な部分とそうでない部分とに分けることができる。そのような経路探索の特定の状況において人間にとって重要な意味をもつ部分を「場所」とよぶことにする。そのようにして、場所は都市空間の中に離散的に設定される。

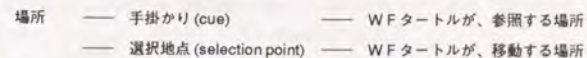
場所はさらに、WFタートルにとってどのように重要であるかによって、次のような「手掛かり(cue)」と「選択地点(selection point)」とに分けられる。

1) 「手掛かり」は、WFタートルが経路探索の途中で参照する場所である。手掛かりは、いわゆるランドマークに相当する。普通にいうランドマークでは視覚的に際だったものという側面が強調されるのに対して、ここでは必ずしも視覚的に際だったものに限らず、機能的に、あるいは象徴的に際だったものも含み、一般に意味的に際だったものといえる。

手掛かりは、名前や、形、用途など、その手掛かりに特有の属性をもっている。手掛かりの属性の情報をを用いて、WFタートルは現在いる場所や目指している場所(目的地)の同定をする。次節で、経路探索のゴールとなる目的地は、手掛かりの形式で表現されることを述べる。

また手掛かりは、ある都市のシンボルとなる教会のように数の少ないものに限らず、銀行や学校、交差点などごく普通に見られるものも該当する。

2) 「選択地点」は、人間が実際に移動する場所である。道路の分岐点や行き止まり、あるいは手掛かりとなる場所の前などが該当する。WFタートルは選択地点で、他の場所がその場所(選択地点)とどのような関係にあるかというリンクの情報を引き出し、次にどの方向へ行くかという決定を行ないそれを実行にうつすことになる(3)。



手掛かりと選択地点のそれぞれについて、ある都市空間が与えられたとき、具体的にどのような設定するか、その手順を示すことにする。

3.2.4. 手掛かり

手掛かり(cue)は、一般的にいえば都市の中にあって何らかの視点から見て際だっている場所である。どのような意味で際だっているかについては、次の三つを挙げることができるだろう。

- 1) 形態的に際だっている場合。大きさや形状などが、周辺あるいは一般的なものとは異なる。
- 2) 社会的意味が際だっている場合。たとえば、劇場、市庁舎、デパート、郵便局などである。これらは、人々によく利用されたり、よく言及され、公共性の高いものである。第2章の実験の中では、次のような項目が繰り返し言及されており、これらは手掛かりとすることができる。

渋谷地上レベル：通り(センター街、公園通り)、坂(スペイン坂)、交差点、駅前広場(ハチ公前広場)、駅(渋谷駅)、デパート(バルコ、西武、丸井、東急ハンズ)、ファーストフード(マクドナルド、アービーズ)、彫像(ハチ公)、看板、交番

銀座B1フロア：階段、地図、サインボード、改札口、切符売り場、出口、案内所、売店、デパート地下入口

- 3) 特別なエピソードのある場合。ありふれた建物であっても、その建物をめぐって特別なエピソードがある場合には手掛かりとなる。また、そのエピソードが必ずしも歴史的事実のように誰もが知っているものでなくとも、あるグループや個人にとって重要な場合には、そのグループや個人にとっての手掛かりとなる。このように与えられた都市空間の中から手掛かりを決めるには、経路探索の状況を規定する、「装置、役割、主題」に照らし合わせる必要がある。

手掛かりをコンピュータ上に表現するために、「種類、名前、形状」の三種類の特徴をスロットとしてもつフレーム的な表現を採用する。また、手掛かりを図示するには、「□」で表わすことにする。

ここで、経路探索の計算論的モデルの説明のために、一つのモデル的な状況を設定する。この状況の主題となる経路探索の課題は、レストランに行くといったごく一般的なものとする。装置としては、次にあげるようなモデル的な小さな都市空間を設定する。この例では、4つの

手掛かりがあり、それぞれ次のような属性とその値からなるスロットをもっている。

手掛かり 種類	名前	形状
C1	レストラン「Aレストラン」	小さい 立体 入れる 境界が明瞭
C2	交差点「B交差点」	広い 平面 入れる 境界が不明瞭
C3	案内所「C案内所」	小さい 立体 入れる 境界が明瞭
C4	噴水「D噴水」	小さい 点状 入れない 境界が明瞭

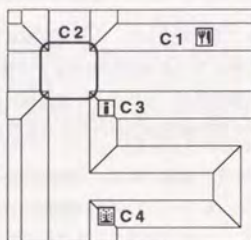


図 3-3. 手掛かり

3.2.5. 歩ける領域

選択地点を定義するためにまず、都市空間の中の「歩ける領域」について述べる。都市空間には人間が歩けるところと歩けないところがある。道路は歩けるところであるが、道路に車道と歩道があるときは歩道が歩くところとなっている。公園や広場、時には空き地や駐車場の中にも自然に歩ける。建物も公共的なものであれば、入り口から入って中を歩くことができる。一方で、道路に沿って立ち並ぶ個人の住宅や一般の事務所ビルなどには、特別に用事がないかぎり自然に入って歩くことはできない。

「人間が歩けるか」という基準で都市空間を二種類の領域に分けることがほぼ可能である。ノリーの地図は、そのような視点で描かれた典型である(4)。この「歩ける領域」は、どのような都市空間でも「歩けない領域」を網の穴の部分として、網状に広がっている。その結果として「歩ける領域」の一つの特徴は、「歩けない領域」が島状に不連続になっているのに対して、連続していることである。「歩ける領域」のもう一つの特徴は、外部とつながっているということである。都市空間を訪れる人は、この外部とつながっている部分からやってくる。その都市空間から出ていく人も、そのような部分から出ていく。そのような部分は都市空間への出入り口となっているのである。ただし、その都市空間の内部に特別な場所として、地下道の入り口、駅などの外部への出入り口があることもある。

- 歩ける領域 … 1. 連続している
… 2. 外部とつながっている

先にあげた例では、図3-4. に示すように、グレーの部分と、手掛かりC1とC3の中が、歩ける領域ということができる。

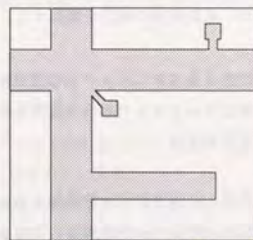


図 3-4. 歩ける領域

3.2.6. 選択地点

歩ける領域の中を移動する人間にとって、この領域は一様ではない。次のような二つの条件のいずれかを満たす場所を選択地点(selection point)とよび、歩ける領域の中に他とは異なる特別な場所として指定することができる。この二つの条件を満たす選択地点とは一般的に言えば、タートルが移動する場所の中で、経路探索の視点から見て移動に関する何らかの決定をする可能性のある場所といえる。

1) 進行方向について決定する可能性がある。… 進むか戻るかの選択(道の途中)は除く。

1-1) 分岐点 (例) 角、交差点、歩道と横断歩道の分岐点

(車道と歩道の区別のある大きな交差点には選択地点がいくつかあることになる)

1-2) 屈曲点 (例) 道路が折れ曲がる角

1-3) 行き止まり (戻るという選択しかできない)

2) 手掛かりについての情報を得られる。… ビジュアル、サイン、ガイドのリンクが得られる。

2-1) 手掛かりの前 点状の手掛かりの前 (例) ストリートファーマニチャの前

手掛かりの入口の前 (例) 建物の前

2-2) 手掛かりの内部 (建物などの中も選択地点として設定したほうが良い場合もある)

2-3) 手掛かりが指示される場所 (例) 新たに見える場所、サインの前。

具体的に経路探索の状況を設定すれば、これらの選択地点は歩ける領域の中に無限にあるわけではなく、離散的に点状の場所(したがって地点(point)と呼ぶ)として指摘することができる。また、選択地点を図示する時には「○」で表わすことにする。

先の例では、次のような6つの選択地点が設定される。

選択地点	進行方向について	手掛かりについて
P1		C1「Aレストラン」の中
P2	分岐点	C3「B交差点」の中
		C4「D噴水」の前
P3		C1「Aレストラン」の前
P4		C4「C案内所」の中
P5	分岐点	C4「D噴水」の前
P6	行き止まり	
P7	範囲外	
P8	範囲外	
P9	範囲外	
P10	範囲外	

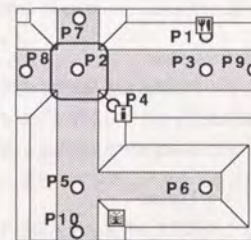


図 3-5. 選択地点

3.2.7. リンク

「リンク(link)」の情報は、進行方向の決定に用いられる。データベースであるUSネットワークからWFタートルが獲得して経路探索に利用する情報は、リンクの情報である。実験の中で言及された都市空間に関する情報は、このリンクによって表現される。

リンクは次にあげるような「メディア、アンカー、ターゲット、方向、距離、ID、代理、

注釈」の8種類の属性をもつ。リンクは、図3-6.に示すように、サインボードを例にとって考えられる。また、一般的に表示するためには、アンカーからターゲットを指し示す矢印によって表すことができる。

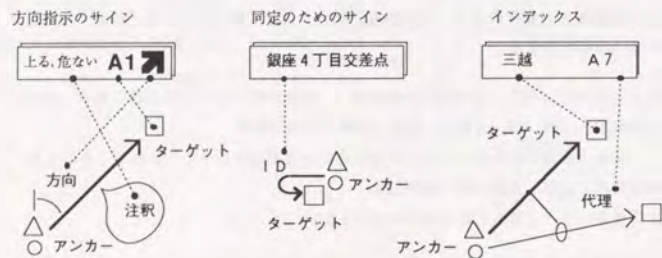


図3-6. リンク

1) メディア(media)

リンクの情報が伝達される時のモードあるいは媒体を表す。次のように5つに分けられる。この分類によってリンクを5種類に分けることができる。(3.2.9.項でさらにくわしく論ずる)

フィジカル	PLINK	…移動できる選択地点を示す
ビジュアル	VLINK	…見ることのできる手掛かりを示す
サイン	SLINK	…サインボードによってわかる手掛かりへの方向や行き方
ガイド	GLINK	…他の人の案内によってわかる手掛かりへの方向や行き方
メモリ	MLINK	…記憶によってわかる手掛かりへの方向や行き方

2) アンカー(anchor)

リンクの出発点となる場所で、常に選択地点である。WFタートルは、ある時点で位置している選択地点をアンカーとするリンクの情報を獲得することができる。サインボードの例でいえば、アンカーはボードの立っている場所である(5)。

3) ターゲット(target)

リンクの指示する対象となる場所である。どの場所についての方向やIDや代理の情報かということを示す。メディアがフィジカルの場合は、ターゲットは選択地点である。その他の場合は手掛かりである。サイン、ガイド、記憶をメディアとする場合には、方向や距離の情報だけが得られてターゲットがないリンクも考えられる。(例:とにかく右の方向へ行けばよい。)

4) 方向(direction)

WFタートルがアンカーに位置する時に得ることのできる、アンカーからターゲットへの方向である。WFタートルと独立した座標系に対する方向ではなく、前後左右といったWFタートルの身体に対する方向として与えられる。サインボードの例でいえば、方向指示のサインの示すものがこれに相当する(図3-6.左)。

5) 距離(distance)

WFタートルがアンカーに位置する時に得ることのできる、アンカーからターゲットへの距離である。方向と距離はターゲットについての計量的(metric)情報を与える。方向の情報に比べると正確さにおいて劣ることも多い。例えば、遠い、近いといった情報であることも考えられる。

6) ID(identification)

アンカーの選択地点とターゲットとなる手掛かりが同じ位置にある、あるいは内部にあることを示す。これは「そこがどこであるか」を与える。ID情報があるリンクは、サインボードでいえば場所の同定のためのサインに相当する(図3-6.中)。ターゲットが点状の場合にはアンカーとターゲットの位置は一致するが、ターゲットが拡がりをもつ場合には内部にあるということを示す(例えば、交差点の中)。

7) 代理(substitute)

そのリンクに代替することのできるリンクを示す。これは「どこに行くにはどこに行けばよいか」を指示することになる。これによって、視界の外にある目的地が与えられた場合にも、この代理のリンクの情報によってサブ目的地を設定することができる。代理があるリンクはサインボードでいえば、インデックスに相当する(図3-6.右)。この代理情報は、サイン、ガイド、メモリをメディアとするリンクからのみ得られる。代理のリンクのアンカーはもとのリンクのアンカーと同じ選択地点としている。(つまり、その場所で代わりにどの目的地に向かったらよいかを指示している。)(6)

8) 注釈(notes)

リンクには、方向、ID、代理以外の情報が備わっていることもある。たとえば、賑やか、危ない、広い、面白そうなどといった情報である(図3-6.左)。

ある時点でWFタートルが利用可能な情報(アクセス可能な情報)は、WFタートルが位置している選択地点をアンカーとするリンクに限られる。つまり、WFタートルによって獲得されるリンクの情報とは、タートルがその時点で位置している選択地点が他の場所(選択地点や手掛かり)とどのような空間的關係にあるかということを表わしている。アクセス可能な情報については次の3.3.節でも扱う。

リンクに表示される空間的關係を整理してみる。まず、アンカーとターゲットによって位相的(topological)関係が表示される。つまり、WFタートルが現在いる選択地点(アンカー)から、ターゲットとなる他のある選択地点が到達可能である、あるいはターゲットとなる手掛かりが見える、サインボード、他の人からのガイド、記憶などによって指示されている、といった関係が成立している。代理情報によってリンクとリンクの間に形成される関係も、位相的關係ということができる。代理情報によって場所群の中にグループ化がなされ、階層性(hierarchy)が導入される。

この他に、方向の情報と距離の情報によって、計量的(metric)関係が表示される。方向情報の特別な場合として、近接関係(proximity)、つまりタートルが現在いる選択地点がある手掛かり

に近接していること（～の前である、など）が表示される。

またID情報によって、包含関係(inclusion)、つまりタートルが現在いる選択地点がある手掛かりに包含されていること（ある交差点の中である、など）が表示される。

3.2.8. リンクの例

場所の項で示した小さな都市空間の例で、リンクがどのように表現されるか示すことにする。

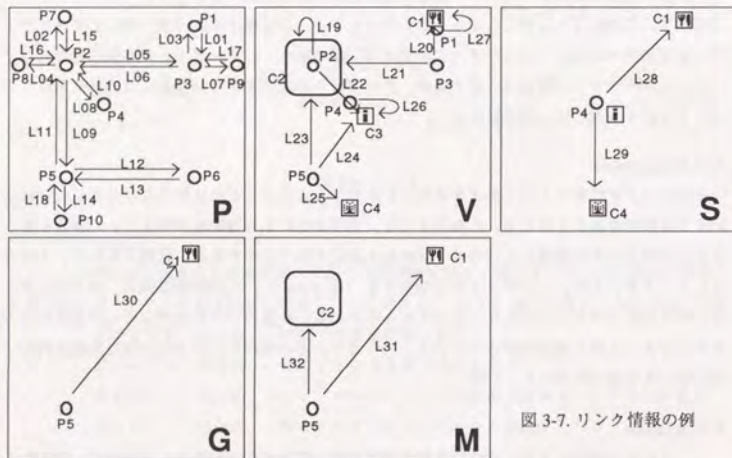


図 3-7. リンク情報の例

メディア	アンカー	ターゲット	方向	距離	I	D	代理
L01	PHYS	P1	P3	180	10		
L02	PHYS	P2	P7	0	10		
L03	PHYS	P3	P1	0	10		
L04	PHYS	P2	P8	270	10		
L05	PHYS	P2	P3	90	30		
L06	PHYS	P3	P2	270	30		
L07	PHYS	P3	P9	90	10		
L08	PHYS	P2	P4	135	14		
L09	PHYS	P2	P5	180	30		
L10	PHYS	P4	P2	315	14		
L11	PHYS	P5	P2	0	30		
L12	PHYS	P5	P6	90	30		
L13	PHYS	P6	P5	270	30		
L14	PHYS	P5	P10	180	10		
L15	PHYS	P7	P2	180	10		
L16	PHYS	P8	P2	90	10		
L17	PHYS	P9	P3	270	10		
L18	PHYS	P10	P5	0	10		
L19	VIS	P2	C1	IN	IN		
L20	VIS	P3	C1	0	10		
L21	VIS	P3	C1	270	10		
L22	VIS	P2	C3	135	14		
L23	VIS	P5	C3	0	30		
L24	VIS	P5	C3	30	20		
L25	VIS	P5	C4	135	14		
L26	VIS	P4	C3	AT	AT		
L27	VIS	P1	C1	AT	AT		
L28	SIG	P4	C1	45	28		
L29	SIG	P4	C1	180	30		
L30	GUID	P5	C1	40	42		
L31	MEM	P5	C1				
L32	MEM	P5	C1				

3.2.9. メディアによる情報の分類

リンクのメディアの5種類の分類は、情報伝達のモード(様式, mode)あるいは媒体の種類とみなすことができますので、それによって経路探索に関する情報を表3-1.のように分類することができます。大きくは、環境である都市空間をメディアとする情報[環境(environmental)情報]と、人間が都市空間についてもっている記憶をメディアとする情報[記憶(memory)情報]とに分けられる。環境情報はさらに、人間が移動する範囲を制限し移動できる方向を規定する、いわば容器としての都市空間の、物理的な構成を通して得られる情報[フィジカル(physical)情報]と、都市空間に分布する特別なシンボル群を通して獲得される情報[シンボル(symbol)情報]に分けられる。シンボル情報はさらに、建物や交差点などの手掛かりを見る、などのように視覚を通して得られる[ビジュアル(視覚的 visual)情報]、同じように視覚的ではあるが、さらに方向指示のサインや場所を同定するサイン、地図などを解説することを通して得られる[サイン(signage)情報]、都市の中で他の人間に尋ねることによって得られる[ガイド(guide)情報]にわけられる。

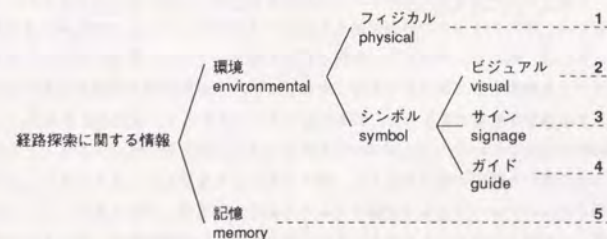


表 3-1. 伝達モードによる経路探索に関する情報の分類

3.2.10. 都市空間とUSネットワーク

McLuhan(1962)が述べたように「メディアはメッセージである」と考えられ、どのような媒体から得られる情報であるかは経路探索において重要な意味をもつのである。さらに経路探索を踏まえた都市空間のデザインを考える時には、それらのメディアがデザインの対象となることが多いのでなおさら重要である。

実験の中では移動そのものについてはほとんど発言がなされない。したがって、フィジカルリンクはモデル化にあたって導入されたものである。他の4つのリンクは実験での、獲得した都市空間の情報に相当している。

フィジカルリンクとビジュアルリンクは、都市空間の物理的な構成、特に形態的な構成によって規定される。この2種類のリンクに影響を与えるのは、プランニングのレベルから素材や色彩のレベルにいたる、都市空間の形態的なデザインである。

サインリンクは都市空間の中のどこにどのようなタイプのサイン類を配置するかというサイ

ンシステムのデザインによって規定される。さらにサインリンクが機能するためには、利用者によるその解釈というプロセスが必要となる。したがって、都市空間の社会的、文化的な要因、つまり人間の側の要因が関係してくる。そのような要因を考え合わせなくては、サインリンクの機能を正確に決定することはできないのである。

これらに対して、ガイドリンクは都市空間の物理的な構成を見るだけでは規定できないものである。交番や案内所は、その配置を規定しさえすれば社会的ルールに従って、どのような情報を得られるかという機能を推定することはできる。しかし、通行人とのコミュニケーションによって得られるガイドは、時間的に変化する偶然的なものである。さらに質問をし、案内をしてもらうといった人間どうしのコミュニケーションが介入してくるので、都市空間の社会的文化的側面を考慮することなしには決定できないものである。

メモリリンクは、普通は人間に帰属するリンクとみなされる。つまり、WFタートルをトラベルルールとメモリリンクからなるものとして人間にちょうど対応するものとするのである。しかし、ここではメモリリンクをWFタートルから切り離し、USネットワークの一つのリンクとしている。WFタートルの外部にあるものという扱いをしているのである。そのかわりメモリリンクには、他のリンクにはない特別な性格を持たせている。特定のWFタートルだけがアクセスできる権利をもっていることや、そのWFタートルによって内容が変更できること、アクセスする部分を変更できること、特有のあいまいさをもっている点などである。

人間は都市空間について、全く頭の中にあるものとして覚える以外に、ちょっとしたメモや自分流に描いた略図の助けをかりて、覚えておくことを減らすこともできる。口に出し復唱し、調子のよいフレーズとして記憶することもある。指を折って数えたり、ちょっとした身振りをを使って記憶しておくこともある。それらのちょっとした記憶術は、たいがい他の人には通じず、自分にしかアクセスできないようなメディアである。そうした自分流のメディアを使った記憶は、ただ頭の中にある知識とするのはふさわしくないだろう。

一般に、都市空間の記憶は、実際に都市空間の中を歩くことで思い出されてくることが多い。経路探索を始める前には道順を明確に説明できない場合でも、当人は「行けばわかる」と主張し、行ってみればその通り目的地に到達できる人は多い。また、熟知している都市空間については、我々はその都市空間の認知マップを詳細に頭の中にもっているとも言えるが、一面ではその都市空間の中での経路探索は極めて自動化しており、人は経路探索をするために頭を使ったという感覚を持たない。まるで人間の外部にあるはずの都市空間が促して、それにしたがって移動しているだけのように感じられるのである。このように頭の中の知識と外界の知識とを同型のものと扱い、頭の中から外界へ、外界から頭の中へ知識が容易に移転できることを強調するためにメモリネットワークをUSネットワークに属するものとしているのである。

このモデルの特徴は、ここでいう環境情報と記憶情報を同じ構造をもつものとして扱い、どちらもUSネットワークに貯蔵されているものとしている点にある。それによって経路探索のプロセスは、環境情報も記憶情報もともに含んだUSネットワークと、場所のネットワークから情報を引き出して経路探索課題を解決するための簡単なルール群だけをもったWFタートルとの相互作用としてモデル化することが可能になっている。

これまでに述べた、このモデルの特徴を、一般的にいう都市空間と人間との対比と比較すると図3-8.のようになる。

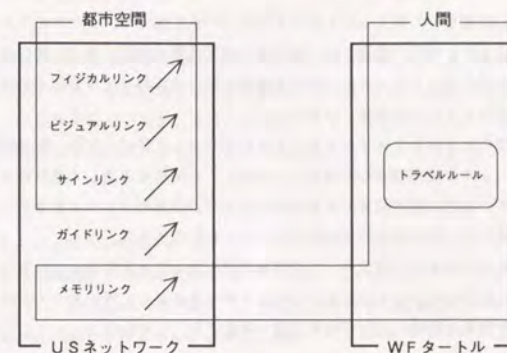


図3-8. 都市空間と人間/USネットワークとWFタートル

3.3. 経路探索プロセスのモデル

この節では、前節までに導入されたUSネットワークに加えて、トラベルルールをもつWFタートルを導入して、時間の経過に伴った両者の相互作用の展開に焦点を当てることにする。WFタートルがUSネットワークから情報を獲得し経路探索のゴールを達成するために行動をする、一連のプロセスについて扱うのである。

経路探索のプロセスはマクロプロセスとミクロプロセスに分けられる(図3-9)。マクロプロセスは、タートルが経路探索の出発点から出発して目的地を目指して選択地点上を移動するプロセスであり、経路探索が始まってから終わるまでの全体のプロセスをさす。2.3.1.1項で実験の結果から提案した、経路探索の経験的モデルはこれに相当する。

一方、ミクロプロセスは、WFタートルがある選択地点にいる時に、USネットワークとの間で行なう相互作用のプロセスである。ミクロプロセスにおいてWFタートルはUSネットワークから必要な情報を獲得し進行方向を決定し移動することになる。

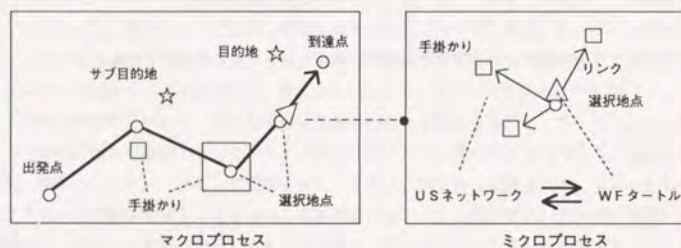


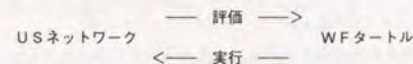
図3-9. 経路探索のマクロプロセスとミクロプロセス

この節ではミクロプロセスについてのモデルを提案し、その中でミクロプロセスを駆動するルール群であるトラベルルールについて触れることにする。

3.3.1. 経路探索のミクロプロセス

ミクロプロセスはWFタートルがある選択地点にいるときにWFタートルとUSネットワークとの間で行なわれる相互作用のプロセスであり、USネットワークからWFタートルに向かう矢印で示されるプロセスと、WFタートルからUSネットワークに向かう矢印で示されるプロセスとの、二つの方向の異なるプロセスに分けられる。前者は、WFタートルがUSネットワークから情報を獲得し、経路探索のゴールを達成するために持っているトラベルルールに基づいて移動のためのプランを形成する「評価(evaluation)」のプロセスである。形成される移動のためのプランは、「トラベルプラン」と呼ぶことにする。後者は、形成されたトラベルプランに基づいて、WFタートルがUSネットワークに対して移動をしたり変更を加える「実行

(execution)」のプロセスである(7)。



現実の経路探索では、具体的な行為の中に評価と実行が折り込まれて遂行されていると考えるのがふさわしい。また、評価が終了してから実行にうつるといった順序が確定しているわけではない。しかし近似的なモデルとしては、評価のプロセスと実行のプロセスを分けることは可能で、まず評価がなされ、それから実行がなされると見なすことができる。

3.3.1.1. プランとトラベルプランについて

WFタートルは経路探索の課題を解決していくために、これからどのように移動(トラベル)するかというプラン(計画plan)を形成する。物理的環境の中での移動のためのプランは「トラベルプラン(travel plan)」と呼ばれることがある(8)。

Vere(1990)の定義によれば、一般にプランを作成すること=プランニングは、「その環境を変えることのできるエージェント、たとえばロボットなどの、行動の連鎖(action sequence)あるいは行動のプログラム(action program)を生成することである。そのようなプランの目的とは、明確に言及された一つないしそれ以上のゴールを達成することである。」とされている。

環境認知の研究の分野においては、Gärling et al.(1985)が、プラン(彼らは行動プランと呼んでいる)を「大スケール(large-scale)、中スケール(medium-scale)の環境についての情報の内部的処理と、これらの環境の中で行なわれる行動(actions)との間にかけられた、潜在的に実行可能な橋」であり、「日常の社会的物理的環境における行為の重要な決定要因」としている。その上で、トラベルプランを「大スケールと中スケールの環境で実行される多くの行動プランの中の統合された部分」と定義している。

3.3.1.2. 経路探索におけるプランニングの特徴

経路探索におけるプランニングは、他の現実世界におけるプランニングに共通するいくつかの特徴を持っている。前述のVere(1990)は、「プランニングが効果的であるためには、プランが実行される世界が、たとえ完全に決定論的でなくても、十分に予言できる(predictable)ものでなくてはならない。カオティックな領域に対してはプランニングは有効ではなく、エージェントは出来事に反応することができるのみである。」と述べている。経路探索の行なわれるような現実世界は、カオティックではないが、「パズルを解く」「定理を証明する」といった制限された世界に比べてはるかに複雑であり、また変化する要素が多い。そのため、現実世界におけるプランニングでは次にあげるような要求が満たされる必要がある。

- ・環境の変化に対応できること。環境から不確かさや誤りを含んだ情報が得られることもある。それにもかかわらず適切な行動を実行できること。このような性質をロバストネス(robustness)ということもある。

・有効な実行時間内にプランを実行できること。完全なプランが形成できて有効な時間内
でなくては意味がない。むしろ浅いプランニングによって行動に移る方がよい場合がある。

Passini(1984)は、普通は経路探索の始めには、人はあいまいなプランしかもっていないこと、
新しいプランは一般に以前のプランが実行された後になって形成されることを観察している。
彼の実験のフィールドであるショッピングモールでの移動では、プランが連鎖的に順序づけら
れており、オーバーラップしたプランがないことを示している。「ある時点で扱う問題やサブ
問題は一つであり、問題を並行的にあるいは同時に解決することはないという強い傾向(p.69)」
を指摘している。この論文の中でも、人間が経路探索の間に形成するトラベルプランは、比較
的単純なものとなっている。しかし考慮される問題は、Passiniのいうように1つに限られて
いる、という立場はとっていない。

この経路探索におけるプランニングは、マイクロプロセスの評価のプロセスで行なわれる。

3.3.1.3. トラベルルール

マイクロプロセスは、WFタートルのもつ手続き的知識であるトラベルルールによって進めら
れる。マイクロプロセスのどの時点で適用されるかによって、トラベルルールを評価のプロセス
で適用されるトラベルルールと、実行のプロセスで適用されるトラベルルールとに分けて考え
る。

評価のプロセスで適用されるトラベルルールによって、WFタートルのもっている目標を表
すゴールリンクからはじまって、次々と関連するリンクを見つけたし、実際に移動するフィジ
カルリンクの決定にまでいたるプロセスが展開される。そのようにして形成されるリンクの連
鎖がトラベルプランである。もちろんトラベルプランの形成が、移動するフィジカルリンクの
決定にまでいたらないこともある。

一方、実行のプロセスで適用されるトラベルルールは、形成されたトラベルプランにもとづ
いて、実際に移動したり、メモリネットワークを変更したり、ゴールリンクを変更したりする
プロセスを規定している。

3.3.2. 評価のプロセス

3.3.2.1. アクセス可能な情報の獲得

評価のプロセスの中では、USネットワークから経路探索に関する情報を獲得すること
(information acquisition)が繰り返し行なわれる。情報獲得のプロセスでWFタートルは、USネ
ットワークのどの部分からでも情報を獲得できるのではない。WFタートルがUSネットワ
ークの中で利用できるのは、WFタートルがUSネットワークの中で位置している選択地点の近
くの情報に限られる。このWFタートルが位置している選択地点を「現在地点(current point)」
と呼ぶことにする。この場合の「近くの情報」とは、現在地点と、そこをアンカーとするリン
ク、およびそのリンクのターゲットである選択地点あるいは手掛かりの3種類の情報である(9)。

- アクセス可能な情報 1) 現在地点の情報
2) 現在地点をアンカーとするリンクの情報
3) 上のリンクのターゲットである選択地点あるいは手掛かりの情報

3.2.節に例として示したUSネットワークで、WFタートルがP5にいる場合に、アクセス可
能な情報を以下に示す。

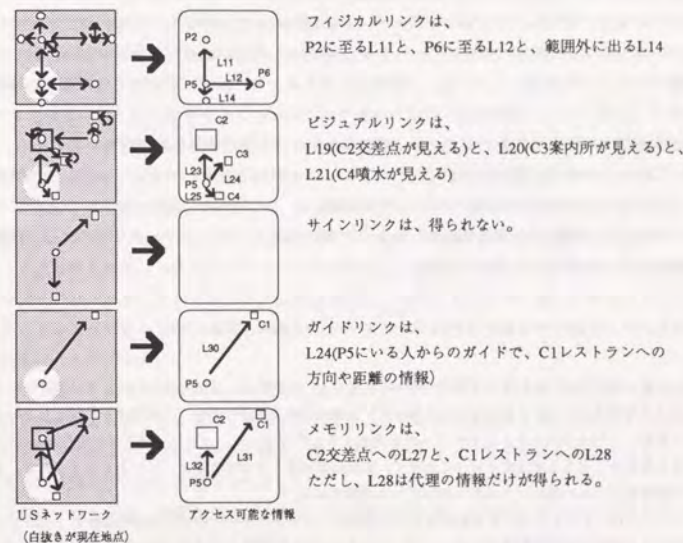


図 3-10. アクセス可能な情報

これらの情報はある選択地点にいるときにWFタートルが利用する可能性のある最大限の情報
を示している。しかし、アクセス可能な情報の全てが実際に利用されるわけではない。次に
示すように、WFタートルは経路探索のゴールを解決することを目的として、トラベルプラン
を形成する。その形成のプロセスの中で必要となる情報がこれらの中からさらに選択されて実
際に利用される。

3.3.2.2. 経路探索のゴール

WFタートルが経路探索を行なうのは、ゴール(目標 goal)を持っているからである。ゴール
は、WFタートルが達成しようとしている状態である。ゴールは、経路探索のマクロプロセ
スの始めに課題として与えられる。マクロプロセスにおいて経路探索が終了した状態は、ゴール
が達成されている状態か、もはやゴールが達成できない状態である。一方、マイクロプロセス
に焦点を当ててみると、経路探索をしている間は、WFタートルは常にゴールをもっている。

そのゴールは、直前に位置していた選択地点から引き継がれたものである。

ゴールは、具体的には「～に行く」という形式で表わすことができる。「～」に入るものは、目的地となる「手掛かり」である。たとえば、「バルコに行く」「郵便局に行く」等である。このゴールが達成されれば、経路探索は終了する。

これらをまとめて、ゴールの表現形式として、「リンク」の表現形式を利用することにする。経路探索のゴールを、WFタートルがもつ特別なリンク「ゴールリンク」として表現することにするのである。ゴールリンクはWFタートルの仮想的な移動を指示している。WFタートルは、ゴールリンクに示された「ターゲット」を目指して、あるいはそこに示された「方向」への移動をすることを目標としている。「仮想的」であるから、必ずしも実際にその通りの移動ができるとは限らない。実際には、USネットワークがどのような構成になっているかによって移動が制限される。そのため目標とする移動がそのまま実現されるわけではないのである。

ゴールリンクは各選択地点におけるマイクロプロセスの初期状態として与えられる。ここで作成しようとする経路探索のマイクロワールドの特徴は、このようにUSネットワークとWFタートルの双方に同型のリンクをもたせ、それらの間の単純なパターンマッチングによって経路探索のプロセスを記述する点にある(10)。

ゴールリンク：[アンカー、ターゲット、方向、距離、注釈]

※ゴールは一つであるとはかぎらず複数であることもある。たとえば、「バルコに行く」というゴールの他に「公園通りに行く」というゴールを持っている場合がある。その場合、「公園通りに行く」というゴールが、「バルコに行く」というゴールを達成するためのゴール、つまり「サブゴール(sub-goal)」である場合と、どちらが上位ということなく、並列に挙げることが出来るゴールであることがある。前者の場合はゴールの間にヒラルキーが存在する状態である。

※「バルコに行く」というゴールが達成された状態とは、「バルコの中にいる」状態の場合と「バルコの前にいる」状態が考えられる。ただし、「～」に入るものが「交番」や「ハチ公の像」などのように、入ることのできない場所である場合は、ゴールが達成された状態は、「交番の前にいる」「ハチ公の前にいる」状態であることが常識的である。このような場合には「～の前へ(の近くへ)行く」という方がより正確であろう。これらの例の「～の中」「～の前」「～の近く」という表現からわかることは、「手掛かりへ行く」というゴールが達成された状態とは、その<手掛かり>と、「の中」「の前」「の近く」という関係にある選択地点に到達した状態のことである。

※ゴールの与えられ方としては、「手掛かりへ行く」という形式の他に方向や距離を指示する場合が考えられる。たとえば、「右の方へ行く」「北の方へ行く」「まっすぐに300m行く」などである。

3.3.2.3. トラベルプラン形成のプロセス

WFタートルが実際に次の選択地点に移動するためには、アクセス可能なフィジカルリンクの中から、どれか一つのフィジカルリンクが選ばれる必要がある。しかし、WFタートルのもっているゴールリンクの情報だけではどの方向に移動すべきか決定できないこともある。そのような時には、フィジカルリンクを選び出すためにWFタートルは、その他のアクセス可能なリンクから、有効な情報を引き出すことになる。これが経路探索のマイクロプロセスにおけるブ

ランニングである。

このようなプロセスを一般的に言い換えれば、経路探索のマイクロプロセスとは、「ゴールリンクが指示する仮想的な移動を実現するために有効なリンクを、USネットワークの中のアクセス可能な情報の中から選択すること」である。

ゴールリンクを実現するために有効なリンクのうち最も直接的に物理的移動を指示しているのが、フィジカルリンクである。フィジカルリンクはゴールリンクと方向がマッチすることによって選択される。ただしフィジカルリンクは1ステップの移動、つまり次の選択地点への移動しか指示していない。

ゴールリンクが方向の情報をもっていない場合や、もっていても方向の情報が不確かで他の可能性も確かめた方がよい場合、あるいは、ゴールリンクに方向の情報があっても適当なフィジカルリンクが得られない場合には、他の4種類のリンクの情報を利用することになる。この場合は、ゴールリンクとターゲットの一致するリンクの情報が選択される。このUSネットワークから得られるリンクを、ゴールリンクに替えて、仮のゴールリンクとする。この新しい仮のゴールリンクを「カレントリンク(current link)」と呼ぶことにする。新しいカレントリンクを設定する方法にはもう一つある。現在のゴールリンクに代理の情報がある場合、それを利用するというものである。

この新しく設定されたカレントリンクと、方向のマッチングによってフィジカルリンクが選択されればよいが、やはり得られないこともある。そのような場合には、さらにターゲットのマッチングによって別のリンクを探し、新しいカレントリンクとする。このようにして、プロセスは再帰的(recursive)に続けられる。

このプロセスは、適当なフィジカルリンクが得られるか、もはやターゲットのマッチするリンクが見つからなくなるまで、継続される。また、ゴールリンクが達成されたこと、つまりゴールリンクのターゲットにすでに到着していることが確認された時にも、プランニングのプロセスは終了する。

ある選択地点においてなされるこのプランニングのマイクロプロセスの基本となる部分を次のように記述することができる。

プロセスの終了

- (1) カレントリンクを達成していること、つまりターゲットの場所に到着していることを、アクセス可能な情報によって確認する。
- (2) カレントリンクとの方向のマッチングによって、アクセス可能な情報の中から移動するフィジカルリンクが選択される。

サブゴールの生成と再帰

- (3) カレントリンクとのターゲットのマッチングによってアクセス可能な情報の中からリンクを選択し、そのリンクを新しいカレントリンクの候補とする。
- (4) カレントリンクの代理から代わりになるリンクを引き出し、新しいカレントリンクの候補とする。

図3-11.にこのトラベルプランの形成のプロセスを図示する。菱形で示されているのが条件の判断であり、長方形は実行部分を示している。図中のカレントリンクは、プロセスが再帰的に繰り返されるたびに新しいリンクに更新される。ここでは、(1)到着、(2)フィジカルリンクの選択、(3)ターゲットのマッチングによるサブゴールの生成、(4)代理によるサブゴールの生成、という順番でプロセスが進行する。しかし、他の順番で実行されることも考えられる。このプロセスの制御の問題は後にふれることにする。

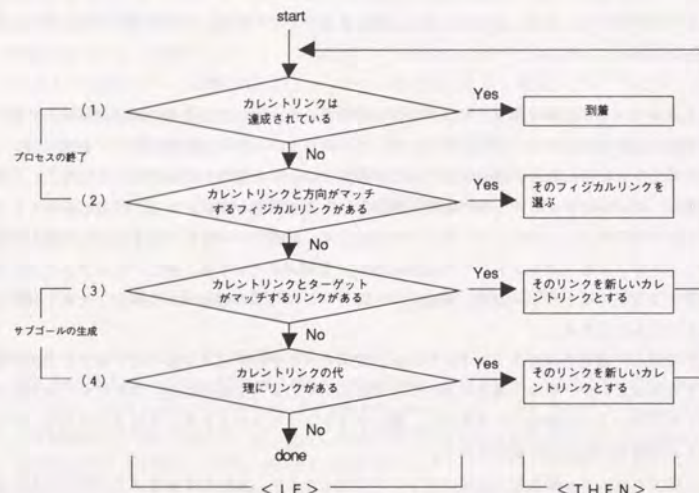


図3-11. トラベルプランの形成

このようにして、ゴールリンクを頂点として、上位のリンクを実現するのに有効なものとして選択されたリンクが次々と続き、最下位に最も直接的な行動を指示するフィジカルリンクが位置するリンクの系列が形成される。この一連のプロセスは、ある問題を解くために、その問題よりも解くのが容易な一つないし複数の問題—サブ問題—に変換する操作といえることができる。

3.3.2.4. 評価のトラベルルール

図3-11.の各段階はどれも、菱形の「条件の判断」部分と、長方形の「判断の結果の実行」からなるものと考えられる。したがってこれらをまとめて、「IF 条件 THEN 行動」のプログラム規則の形式に表わすことができる。これらのルールが「評価のトラベルルール」である。

この評価のトラベルルールは、評価の4種類の段階に対応して次の4種類のルールに分類で

きる。これに加えて、どこから得られる情報によって判断がなされるかによって、さらに細かく分けることにする。つまり、1) 到着の確認については、USネットワークからの情報によって確認するか、WFタートルの移動によってゴールリンクの距離がほぼ0になることによって到着を確認するかの二種類に分ける。3) ターゲットのマッチングによるサブゴールの生成については、USネットワークを構成するフィジカルリンク以外のどのリンク情報を獲得するかによってさらに4つに分ける。これによって次に示すように、8つのトラベルルールを設定することにする。

- | | |
|----------------------------------|----------------|
| 1) 到着の確認 | |
| 1-1) リンクのID (場所の同定) による到着の確認 |トラベルルール 1 |
| 1-2) 距離の接近による到着の確認 |トラベルルール 2 |
| 2) 方向のマッチングによるフィジカルリンクの選択 |トラベルルール 3 |
| 3) ターゲットのマッチングによるリンクの選択とサブゴールの生成 | |
| 3-1) ビジュアルリンクからの選択によるサブゴールの生成 |トラベルルール 4 |
| 3-2) サインリンクからの選択によるサブゴールの生成 |トラベルルール 5 |
| 3-3) ガイドリンクからの選択によるサブゴールの生成 |トラベルルール 6 |
| 3-4) メモリリンクからの選択によるサブゴールの生成 |トラベルルール 7 |
| 4) 代理のリンクによるサブゴールの生成 |トラベルルール 8 |

以下にそれぞれのトラベルルールを、コンピュータ上にLOGO言語を用いてどのように具体的に実現するかをしめすことにする。太字で示しているいろいろな矢印は、ルールの適用をグラフィカルに表記するとき用いる。TOからはじまり、ENDでおわる数行は、これらルール群をLOGO言語によって「手続き」として定義したものである。TOの次の単語が手続き名で、それに続く「:」の付いた一つないし複数の単語が、入力変数名である。

1) 到着の確認

【トラベルルール1】 ...>ARR
 TO ARRIVEDP :TEMPLATELINK
 IFELSE MEMBERP ASK :TEMPLATELINK [:ID] [AT IN]
 ; :TEMPLATELINKのIDにATあるいはINが記されている。
 [OP "ARRIVED] [OP []]
 END

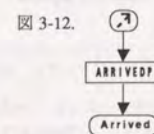


図3-12.

:TEMPLATELINKが、VLINK、SLINK、GLINK、MLINKのどれであるかで、さらに4種類に分類することもできる。つまり、視覚によって到着したことがわかるのか、サインによって、あるいは他の人のガイドによって、あるいは記憶によってわかるのかを区別するのである。

【トラベルルール2】 ...>NEAR

TO NEARP :TEMPLATELINK
 IFELSE LESSP LAST ASK :TEMPLATELINK [:DIST] 5
 ; :TEMPLATELINKの距離の情報が0に近い (ここでは5より小さい)。
 [OP "ARR2] [OP []]
 END

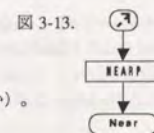


図3-13.

移動を重ねるにつれて、もしWFタートルがゴールリンクのターゲットに近づきつつあれば、:TEMPLATELINKの距離の情報が減少するはずである。この距離の情報があらかじめ決めた値（ここでは5）よりも小さくなれば、そのゴールリンクを達成した、つまり到着したと考えられる。

2) 方向のマッチングによるフィジカルリンクの選択

方向のマッチングによってリンクを選択するための次のようなサブルールが用いられる。

```
TO DIRMATCH :TEMPLATELINK :DATALINKLIST
  (IF :TEMPLATELINKと方向がマッチするリンクが:DATALINKLISTの中にあるならば)
  (THEN そのリンクを選択する)
```

END

【トラベルルール3】 ...P...>

```
TO FINDPHYS :TEMPLATELINK
```

```
OP DIRMATCH :TEMPLATELINK ASK :RPOINT [:PLINKS]
```

```
; :TEMPLATELINKと方向がマッチするリンクをPLINKから選択する。
```

END

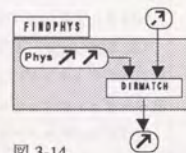


図 3-14.

3) ターゲットのマッチングによるリンクの選択とサブゴールの生成

ターゲットのマッチングでは、次のようなサブルールが用いられる。

```
TO TARGETMATCH :TEMPLATELINK :DATALINKLIST
```

```
(IF :TEMPLATELINKとターゲットがマッチするリンクが:DATALINKLISTの中にあるならば)
```

```
(THEN そのリンクを選択する)
```

END

データとなるリンク群 (:DATALINKLIST) によって次の4種類に分けられる。

【トラベルルール4】 ==V==>

```
TO FINDVIS :TEMPLATELINK
```

```
OP TARGETMATCH :TEMPLATELINK ASK :RPOINT [:VLINKS]
```

```
; VLINK群から選択する。
```

END

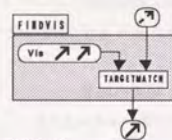


図 3-15.

【トラベルルール5】 ==S==>

```
TO FINDSIG :TEMPLATELINK
```

```
OP TARGETMATCH :TEMPLATELINK ASK :RPOINT [:SLINKS]
```

```
; SLINK群の中から選択する。
```

END

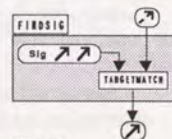


図 3-16.

【トラベルルール6】 ==G==>

```
TO FINDGUID :TEMPLATELINK
```

```
OP TARGETMATCH :TEMPLATELINK ASK :RPOINT [:GLINKS]
```

```
; GLINK群の中から選択する。
```

END

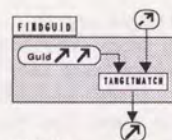


図 3-17.

【トラベルルール7】 ==M==>

```
TO FINDMEM :TEMPLATELINK
```

```
OP TARGETMATCH :TEMPLATELINK ASK :MPOINT [:MLINKS]
```

```
; MLINK群の中から選択する。
```

END

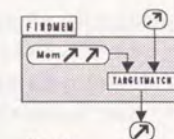


図 3-18.

4) 代理にあるリンクによるサブゴールの生成

【トラベルルール8】 --->

```
TO GETSUB :TEMPLATELINK
```

```
OP ASK :TEMPLATELINK [:SUBSTITUTE]
```

```
; :TEMPLATELINKの代理がリンクをもつならば、引き出す。
```

END

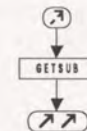


図 3-19.

3.3.2.5. トラベルプランの形成・例

このようにして次々選出されるリンクは、ゴールリンクを頂点としてトラベルルールによって選出された順に連鎖を形成する。この選出されたリンクの連鎖をトラベルプランと呼ぶことにする。図3-20に、先に例として示したUSネットワークの中のP5にいるWFタートルが、「C1に行く」というゴールを達成するために形成するトラベルプランの例を示す。図中で長方形で示しているのがリンクである。最上位のゴールリンクGOALから始めて、最下位のフィジカルリンクL11まで、リンクの連鎖が形成される。図中で矢印で示したのが、プランニングのためのトラベルルールである。

GOAL==G==>L30:GUID P5 C1 [SETH 40] [FD 150] [] (1)

GOALに対してFINDGUIDが適用され、ガイドリンクの中からターゲットがマッチするL30が選出され、新しいカレントゴールリンクとされる。

GOAL==M==>L32:MEM P5 C1 [] [] [L31] (2)

同じGOALに対して、FINDMEMが適用されて、メモリリンクの中からマッチするL32が選出される。このようにリンクの連鎖は分岐することになる。

L30..P...>L11:PHYS P5 P2 [SETH 0] [FD 85] [] (3)

(1)で選出された同じL30に対して、FINDPHYSが適用されて、向かうべきPLINKとして、L11が選出される。

L32----->L31:MEM P5 C2 [] [] [] (4)

(2)で選出されたL32に対してGETSUBが適用されて代理からリンクL31が引き出される。

L31==V==>L23:VIS P5 C2 [SETH 0] [FD 85] [] (5)

L31に対してFINDVISが適用されて、L23が選出される。

L23..P...>L11:PHYS P5 P2 [SETH 0] [FD 85] [] (6)

FINDPHYSが適用されて、(3)と同じL11が選出される。形成されるリンクの連鎖に合流する部分ができる。

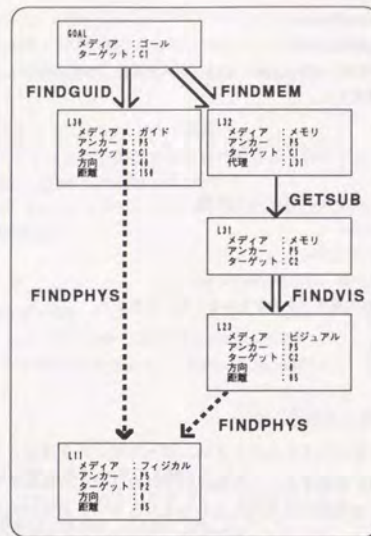


図 3-20. 形成されたトラベルプラン

形成されるトラベルプランには次のような一般の特徴がある。

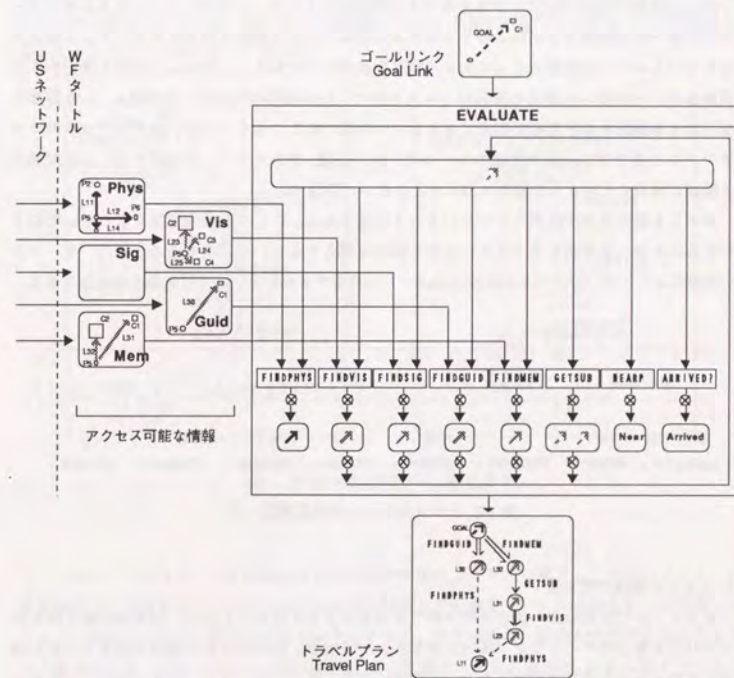
1. ゴールリンクが複数あるときには、根の異なる複数のツリーが形成される。
2. 連鎖の末端には、実際に移動するリンクとして選択されたフィジカルリンクが位置する場合と、ゴールやサブゴールとしていたリンクを達成したこと、つまり到着が確認されたという印が記される場合と、あるいは、フィジカルリンクを選び出すこともできず、ターゲットのマッチングによってサブゴールを生成することもできなかったリンクが位置する場合の、3つの場合がある。
3. また、ターゲットのマッチングによってリンクを選び出す過程で複数のリンクにマッチングすることもある。この場合は、リンクの連鎖が分岐することになる。
4. ターゲットのマッチングにおいて、すでに選ばれたリンクが選ばれループを形成することはない。
5. しかし方向のマッチングにおいて、同じフィジカルリンクが選択されることがある。そのような場合には、異なった導出経路を経て、同じフィジカルリンクが導き出されたことになる。
6. 3、4、5で示した性質から一般化していうと、形成されるリンクの連鎖は、ループのないネットワーク「Directed Acyclic Graph (DAG) (acyclic-directed graphということもある)」となっている。
7. リンクの連鎖が分岐して複数の末端に、異なったフィジカルリンクが得られることもある。このような場合には、いったんリンクの連鎖を最大限まで生成した後で、異なったフィジ

カルリンクを導くことになった複数の連鎖どうしを、あらかじめ決めておいた基準で比較して、どれか一つの連鎖を他よりも優越するものとする事で一つのフィジカルリンクを決定する方法がある。あるいは、分岐した時に、どれか一つの連鎖をフィジカルリンクが得られるまで優先して延ばしていき、一つでもフィジカルリンクが得られた時点でトラベルプランの形成を打ち切ることで解決できる。これらはプロダクションシステムにおける競合の解消 (conflict resolution) の問題に相当する。

7. で示した問題は一般化すると、先にあげた8種類のトラベルルールをどのような順番で適用してトラベルプランを生成していくかという、制御(control)の問題である。そこで次にプランニングの制御について扱うことにする。

3.3.2.6. トラベルプラン形成の制御

トラベルプランの形成におけるデータの流れは、次の図 3-21. のようになる。



評価のプロセスは、図の中央の大きな四角形によって示されている。この評価のボックスに対して、いくつかの入力を示す矢印が入っており、一つの出力を示す矢印が出ている。入力としては、WF タートルが現在地点の前に位置していた選択地点から引きついたゴールリンクと、U S ネットワークの中のアクセス可能な部分から獲得されるものがある。一方出力は、評価のプロセスを経ることで形成されたトラベルプランであり、これは実行のプロセスへの入力として引き継がれる。評価のプロセス自体は、図に示すように、カレントゴールリンクがセットしなおされて再帰的に呼ばれるプロセスとなっている。

ここで、図中の矢印の上に付けた×印を、データの流れを制御する弁のボタンであると考えることにする。すると、制御の問題は、図中に示した13のボタンをどのような順番で押して、データが流れるようにするかということになる。

評価のプロセスのデータの流れを制御する方法を、次のような視点にそって設定する。

1) トラベルプランの優先順位

8種類のトラベルルールをどのような順番で適用するか、という問題である。先に示した例では、1) 到着の確認→2) フィジカルリンクの選択→3) ターゲットのマッチングによるサブゴールの生成→4) 代理のリンクによるサブゴールの生成、という順番で適用するとした。このようにトラベルルールの種類によって大きく順序を決めた上でもさらに次のような点を決定する必要がある。一つは、1) 到着の確認のルールの中で、1-1) 場所の同定による確認と、1-2) 距離の接近による確認とのどちらを優先するかという問題である。もう一つは、2) ターゲットのマッチングによるサブゴールの生成のルールで、2-1) 視覚、2-2) サイン、2-3) ガイド、2-4) 記憶の4種類の情報をどのような順番で利用するかという問題である。

必ずしも優先順位が固定していないという方法もある。いくつかの順位案をもって切り替えることや、適用順をランダムに決める部分を導入するという方法もある。また、タートルの種類によっては、いくつかのトラベルルールは利用できないといった設定をすることもできる。

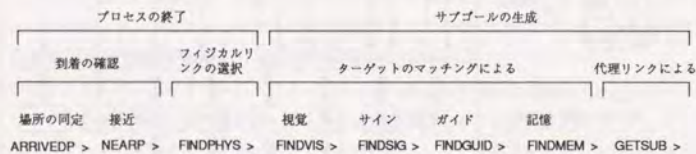


表 3-2. トラベルルールの優先順位・例

2) リンクの連鎖の探索法

サブゴールの生成のルールが適用されてサブゴールが生成された時に、再帰的に繰り返されるプロセスをどのタイミングで実行に移すかという視点。形成される可能性のあるリンクの連鎖をどのような方法で探索するかという探索法と考えることができる。大きく次の二つに分けることができる。

2-1) 深さ優先探索

サブゴールが生成された時にすぐにそれを新しいカレントリンクとして、再帰のプロセスを呼ぶ方法。初期状態として与えられるゴールリンクから始めて、リンクの連鎖の深い部分へ優先的に入っていく、つまりゴールリンクから離れるように探索を進める方法である。もしサブゴールが形成できなくなったら始めて、連鎖をさかのぼって、まだ適用していないトラベルルールを適用する方法である。

2-2) 幅優先探索

8種類のトラベルルールを全て適用してから、生成されたサブゴールの一つを新しいカレントリンクとして、再帰のプロセスを呼ぶ。その新しいカレントリンクに8種類のトラベルルールを適用し、いったん蓄えておき、残っている生成されたサブゴールを新たにカレントリンクとして8種類のトラベルルールを適用する。この探索方法は慎重なもので、形成されるリンクの連鎖の浅い方、つまりゴールリンクに近い方から順に探索して行く方法である。

ここでは、一度カレントリンクとして設定されたリンクについては、一度の探索の中で再び導きだすことのないようにして、探索がループに入り込むことがないように設定されている。そのため、次に示すように、深さ優先と幅優先のどちらの探索方法をとるかによって形成されるトラベルプランが異なることがある。

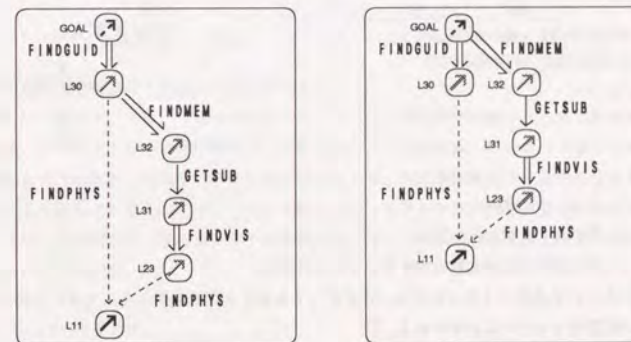


図 3-22. 深さ優先探索と幅優先探索

3) 一つでもフィジカルリンクが選択された時点で評価のプロセスを終了して実行のプロセスに移る場合と、適用できるトラベルルールは全て適用して可能なリンクの連鎖をすべて形成したうえで、競合する部分の解消を行なう場合とがある。後者の場合、競合の解消が必要となるのは、異なったフィジカルリンクが選ばれてしまった場合である。図 3-22. に示したトラベルプランは、すべてを探索している場合である。

一つでもフィジカルリンクが選択されたらすぐに実行に移す方法は、評価のプロセスが速く

終了する利点があるが、USネットワークから得られる情報に不確実さあったり相互に矛盾することが多いような場合や、WFタートルがもっているゴールリンクの情報にあいまいさが含まれるような場合には、不適切な移動をしてしまう危険性も大きい。

一方、トラベルプランを完全に形成する方法は、逆に安全性が高い方法である。しかし、考慮すべき情報が多い場合には、いつまでもプランニングが終わらないということになる。

競合の解消は、異なったフィジカルリンクを導いた連鎖どうしを比較して評価することで行なわれる。評価基準としては、導いたルールの優先順位を利用する、一つのフィジカルリンクに到達した連鎖の数によって多数決とする、ランダムに選ぶ、連鎖の短い方あるいは長い方を選ぶ、などが考えられる。

3.3.2.7. デフォルトルールについて

これまでのにべたような方法によってトラベルプランが形成されるが、いままでにあげたどのトラベルルールも適用されずに、トラベルプランが形成されないことも考えられる。このような場合は、フィジカルリンクが選出されないで移動ができないことになる。このような場合に、いわば、「とりあえず」のフィジカルリンクの選択方法をWFタートルに与えておくことにする。このようなルールをデフォルトルールとよぶことにする。

```
【トラベルルール9】 default..P..>
TO GET.DEFAULT :PLINKLIST
.....
END
```

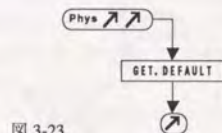


図 3-23.

デフォルトルールの例：

- いつも真直にいくPLINKを選ぶ。
 - もどる方向以外のPLINK群の中からランダムに選ぶ。
(このルールが適用できるためには、WFタートルがその選択地点にやって来た方向についての記憶をもっている必要がある。)
 - まだ行っていないPLINKの方に行く。
(このルールが適用できるためには、その経路探索のプロセスの中ですでにたどった選択地点や手掛かりの記憶をもっている必要がある。あるいはすでにたどったPLINKの記憶をもっている必要がある。)
- cの例として、次のような一般的な迷路探索の方法であるトレモエの方法を用いることもできる。小谷 et al. (1990)から引用して示すことにする。
- 新しい分岐点ではどちらに進んでもよい
 - はじめの路を通って、袋小路の終点か、すでに訪れたことのある分岐点にくれば、来た路を後もどる。
 - すでに一度通ったことのある路をそれとは逆方向にたどって、すでに訪れたことの

ある分岐点に来れば、一度も通っていない路があればそちらへ、なければ一度通った路をもどる。

4) 目的地に到達すれば終了。」

1) の進行方向の選択に、上の a、b を組み込むことも出来る。

デフォルトルールについては、次の4章の中で、シミュレーションをするなかでさらに詳細に考察することになる。

3.3.3. 実行のプロセス

実行のプロセスは、評価のプロセスにつづいて次の三種類のプロセスから構成される。

- 選ばれたフィジカルリンクにもとづいて、実際にUSネットワーク上を移動する。
- トラベルプランに変更を加える。ゴールリンクを変更する。
- メモリリンクに変更を加える。

1) 選ばれたフィジカルリンクにもとづいて、実際にUSネットワーク上を移動する。

先の例でいえば、結果的に選ばれた次のフィジカルリンクに従って、0 の方向に向き、8 5 だけ移動し、次の選択地点はP2になる。

名前	ディレクトリ	リンク	ターゲット	方向	距離
L11	PHYS	P5	P2	[SETH 0]	[FD 85]

2) ゴールリンクに変更を加えたり新たにつくる。

新しいゴールリンクは、トラベルプランとしてリンクの系列が形成される中で形成される。つまり、ターゲットのマッチングによって新しいリンクが選ばれ、そのリンクが方向や距離の情報をもっていれば、同じターゲットをもっている、方向や距離がそれまでの目指していたリンクとは異なってくる。このようにして新しいゴールリンクが形成されるのである。下に示すように、先の例でのトラベルプランの形成の後では、(2) のように新しいゴールリンクが形成されるのである。

```
GOAL ## C1 ##
=G=> L30 guid P5 C1 [40 150] []
..P..> L11 phys P5 P2 [0 85] [] >>> GOAL1 ## C1 @([40 150][0 85]) # ... (1)
=M=> L32 mem P5 C1 [] [] [L31]
--> L31 mem P5 C2 [] [] []
=V=> L23 vis P5 C2 [0 85] []
..P..> L11 phys P5 P2 [0 85] [] >>> GOAL2 ## C2 @([0 85][0 85]) # ... (2)
```

さらにフィジカルリンクが選ばれて実際に移動することにより、それまでのゴールリンクの方向や距離も変更する必要が生じてくる。たとえば、上の (1) では、40° の方向に150 の距離を目指していたものが、実際には0° の方向に85の距離だけ移動することになる。これによって目指す方向や距離は変更される。ここでは、ある選択地点における方向DIR1と距離DIST1とを対にして[DIR1 DIST1]のように表わし、それに対して角度DIR2、距離DIST2の移動

をすることで得られる方向と距離の対を@([DIR1 DIST1][DIR2 DIST2])のように示すことにする。この新しい方向、距離の対に新たに[DIR3 DIST3]の移動が加わった時には@([DIR1 DIST1][DIR2 DIST2][DIR3 DIST3])のように示すことにする。

このような表記法をとる理由は、WFタートルは移動にともなって、目指す方向と距離に不正確さが増してくるようになりたいからである。経路探索をする人間が多かれ少なかれそうであるように、人間に対応するWFタートルも、新たな方向や距離の情報が得られずに移動を繰り返すと、目指していた方向や距離は次第にあいまいになり、やがては目指す方向や距離は失われるようにしたいのである。

3) メモリリンクを変更する、あるいは新しく追加する。

WFタートルは、各選択地点で、後で経路探索をするときに役に立つ情報をメモリリンクとして記録しておくことができる。この論文におけるモデルではこのような「学習」のメカニズムは組み込まなかった。日色,原,門内(1989b)では、記憶の成長プロセス、特に位置の情報の増加とあいまいさの増加のプロセスをシミュレートしている。その中では、システムティックなひずみを表現することはできた。ただし、実験との照合などは行なわれていない。

注

(1) 認知心理学では、人間が持っている宣言的知識は、意識され、直接的に言及され、柔軟性をもち、新しい経験や思考によって容易に変更されるという性格をもつものとされる。一方で手続き的知識は、意識的に扱うことがむずかしく、間接的にしか指示することができず、特定の状況に結び付けられ柔軟性にとばしい。しかし、自動的な処理となっていて変化を受けることが少ないので、失われることもあまりなく頑強な(robust)性格をもつ(Eysenck et al.(ed.)(1990))。

ある知識が宣言的であるか手続き的であるかの区別は必ずしも明確ではなく、互いにトレードオフの関係にあるものとして用いられることがある。Stillings(1987)は、次のような例をあげている。

「マサチューセッツ州のアマーストからニューヨーク市までのドライブ情報をもっているとする。その情報は手続き的であろうか、それとも宣言的であろうか。もし合衆国北部の道路地図をもっているとするれば、これは地理的な位置と道路網についての宣言的データベースとなる。一方、ルートプランの案内図をもっているとするれば、これは手続きを特定するものとなる。つまり、「高速道路9号を西に向かい、州間道路91号に出たら、それをウィルバー・クロス・パークウェイまで南下する」などというものである。一般的に言えば、システムがある知識をもっていることがわかっていても、それが形式として宣言的か、あるいは手続き的かは特定できないのである。……(ルートプランを)実行に移すためには、たとえば道路標識を探し、距離を確認し、自動車を運転するといった、他の手続きへの入力情報となる必要がある。このようにルートプランは他の手続きによって解釈され、処理されなければならない。ルートプランが宣言的知識またはデータ構造の方に近いものと考えられる理由はここにある。宣言的知識と手続き的知識との間のこの曖昧性は、実際に柔軟な行動を実現する情報処理システムにおいては、不可欠なものであると言えよう。訳p.24」

(2) 一般に環境と人間との関係には、定住する静的な関係と移動する動的な関係とがある。前者では、人間と環境とが「どこであるか」という同定(identification)の関係で結ばれるのに対して、後者では、「どこらへんに行くか」という定位(orientation)という関係で結ばれる。経路探索においても、このような同定と定位という二つの関係がうかがえる。たとえば「ここはバルコの前だ」と確認する場所の同定と、「あちらに行けばいい」といった定位と進行方向の決定という側面である。

(3) 手掛かりと選択地点は、タートルによって記憶されるときにその記憶のされ方に大きな違いがあるように設定されている。手掛かりはタートルによって同定されて、いわばIDナンバーをもつようなかたちで記憶される。したがって後から想起することができる。それに対して、選択地点は記憶されてもIDナンバーをもっていない。選択地点を想起することができるのは、その場所にタートルがやってきた時に限られるようになっている。

(4) Anderson(1978)は、都市空間の領域について、ビジュアルアクセスとフィジカルアクセスを区別して、ヨーロッパとアメリカの都市空間の分析をおこなっている。

(5) アンカーは、WFタートルがその時点で位置している場所と一致するのが普通であるが、サイン、ガイド、記憶をメディアとする場合には一致しないことも可能である。つまり現在いる場所ではないところからのリンクが得られるとするのである。本論文では、モデルを簡潔にするためにそのようなケースを考慮しなかったが、今後の課題となるだろう。

(6) サインやガイドや記憶をメディアとする場合には、そのリンクに代替することのできるいくつかのリンクの連鎖の情報を得られるように設定しておくことができる。本文中にも述べたように、代理のリンクには、タートルが現在位置していない選択地点をアンカーとすることもできる。

(7) 実行(execution)と評価(evaluation)という区分は、Norman(1986,1988)が、コンピュータと人間とのインターフェースに関する研究において、一般的に人間の行為(action)の構造として提案している用語に従っている。その中で、人間に関わる心理的な変数としての、何かをするときのゴールと、システム(コンピュータ)に関わる物理的な変数としての、システムのメカニズムや状態とをあげている。その上で行為を、システムに対して何をする実行と、ゴールが達成されているかシステムをチェックする評価の二つの局面に分けている。さらにNormanの提唱する認知工学(cognitive engineering)の課題を、この評価と実行のそれぞれの局面における隔たり(gulf)をできるだけ減らすこととしている。

認知のアーキテクチャの提案であるAnderson(1983)のACTモデルでは、outside worldとの、encodingとperformancesと呼んでいる。知識工学において、上野(1989)は、最も基本的なプロダクション・システムとして認識・行動サイクルによる推論方法によるものを挙げている。そこでは、認識(recognize)サイクルと行動(act)サイクルという表現をしている。

コミュニケーションに関する記号論の用語を用いれば、評価と実行は、それぞれ符号化(encoding)と解説(decoding)の過程と見なすことができる(池上(1983,1984)、Sebeok(1984))。符号化(encoding)は、発信者が、コード(および必要ならば場面(situation))を参照しながら、話題内容(topic)の記号による表現としてメッセージ(message)を作成する過程であり、解説(decoding)は、受信者が、コード(および必要ならば場面)を参照しながら、何らかの経路(channel)を通して到着したメッセージを、解説し話題内容を再構成する過程である。

環境心理学の視点からの認知マッピングに関する研究の中で、Gärling et al.(1985)は、人間の日常的な環境の中での行動について概念的な枠組みを与えている。そのモデルの用語を用いれば、「評価」のプロセスは「トラベルプランの形成」、「実行」のプロセスは「トラベルプランの実行」に相当するだろう。(第1章参照)

(8) 行動の階層性を指摘したのは、Miller, Galanter, and Pribram(1960)であり、プランを「一連の操作を実行する順序をコントロールする生活体内の階層構造的過程」と定義している。

Hayes-Roth and Hayes-Roth(1979)は、プランとは「何らかのゴールを達成することを目的とした行動の経過を事前に決定すること」としている。

Beardon(1989)は、プランは「一定の度合いで抽象化された、ある問題に対する解答」としている。

トラベルプランについては、Gärling et al.(1985)が「場所の順序づけられた部分集合(ordered subsets of places)」と定義している。また、「空間的関係の部分集合(subsets of spatial relations)」でもあるとしている。さらに彼は、Kuipers(1978)のようにバスを場所の順序づけられた部分集合と定義して、「バスはトラベルプランを構成する、あるいはその一部となる」とも述べている。

(9) KuipersのTOURモデルでいえば、YouAreHereポインタがこのアクセス可能な情報を表す。

(10) 一般に、プランニングへの基本的なインプットは、Vere(1990)によれば、「初期的な世界の状態、つまり、その世界を変えるための行動のレパートリーと、ゴールの集合」である。

ゴールリンクとしてWPタートルがもつリンクには、次のリストのように様々な場合が考えられる。

ターゲット	方向	距離	代理	
#	C9	#	#	C9へ行く
#	#	#	#	右の方へ行く
#	#	#	FAR	遠くへ行く
#	#	R	FAR	右の方へ、遠くへ行く
#	C9	R	#	右の方へ、C9へ行く
#	C9	#	FAR	遠くへ、C9へ行く
#	C9	R	FAR	右の方へ、遠くへ、C9へ行く
4) ~ 7) のようにターゲット、方向、距離のいくつかが特定されている場合は、どの情報が				

優先されるか場合分けされる。一般にはターゲットの情報が優先される。つまり例えば「右へ行く」よりも「C9へ行く」が優先される。

GL1	#	#	#	#	GL2 GL3	C3へ行き、C9へ行く …… 8) 代理のリンクが特定
GL2	#	C3	#	#	#	
GL3	#	C9	#	#	#	

ゴールリンクとして複数のリンクが与えられて、代理のリンクが示されている場合もある。この場合も、前の例と同様に2つのゴールリンクに翻訳することができる。この場合も、2つのゴールリンクの優先順位をどちらにおくかで場合分けされる。

U S ネットワークの別の表現法 ネットワークの重ね合わせによる表現

フィジカル、ビジュアル、サイン、ガイド、メモリの5種類のリンクを、図3-24に示すように、それぞれ別のネットワークに属するものとして、5種類のネットワークの重ね合わせとして表現する方法が考えられる。

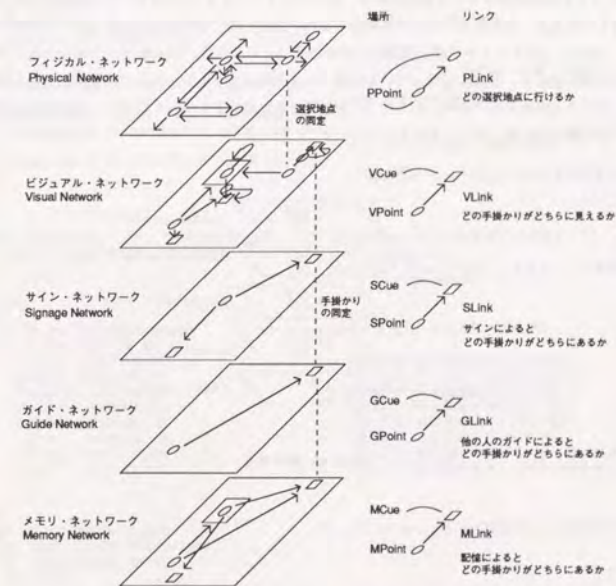


図3-24. ネットワークの重ね合わせ

このようにUSネットワークを5つのネットワークの重ね合わせと考えると、リンクは、その帰属するメディアが決まっているので（リンクにはメディアというスロットを持たせておく）、5つのうちどれか一つのネットワークに振り分けられることになる。

一方で、USネットワーク上の場所（選択地点と手掛かり）は、分解されて複数のネットワーク上に対応する分身のような場所をもつものと解釈されるようになる。そのため、図3-24で点線で示すように、異なったメディアから得られる場所どうしの同定の必要が生じるようになる。

まず、手掛かりについて考える。たとえば、視覚によって得られた手掛かりである「バルコ」の建物と、サインによって指示された手掛かり「バルコ」との同定が必要である。これは一般化して言えば、ビジュアル、サイン、ガイド、メモリのそれぞれのネットワーク上の手掛かりが指示するもの、つまり、VCue「視覚によって指示された手掛かり」、SCue「サイン等によってグラフィカルに指示された手掛かり」、GCue「会話の中で名前によって指示された手掛かり」、MCue「記憶の中の概念が指示する手掛かり」の間の同定である。

選択地点については、WFタートルの現在位置している選択地点どうしの同定が問題になる。特に、フィジカル、ビジュアル、サイン、ガイド、メモリの5種類のネットワークのうち、メモリネットワーク上のWFタートルの現在位置している選択地点と、他のネットワーク上でのWFタートルの現在位置している選択地点との同定が、経路探索においては意味をもつ。しばしば、その同定が成立しないことがあるからである。それは、WFタートルが現在位置していると思っている位置、つまりメモリネットワーク上で位置している選択地点と、現実位置している位置、つまり他のネットワーク上での位置している選択地点が一致しないことがあるのである。これは「いる場所を思い違いしている」状態で、経路探索においてはこのような状態は時に生じることがある。

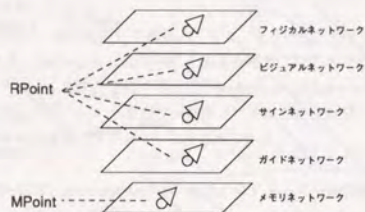


図3-25. 現在地点

経路探索プロセスを制御する主要な手続き

評価のプロセス: EVALUATE—CREATE.TRIPLAN—EXTENDPATH—APPLYTR

実行のプロセス: EXECUTE

```
ASK :NET [TO EVALUATE] ; 評価のための手続き
MWE "TRAVELPLAN CREATE.TRIPLAN :TRAVELPLAN ; トラベルプランを形成する
IF EMPTY :TRAVELPLAN [STOP]
LOCALMWE "MOVEPATH FILTER1 [EQUAL ASK FIRST ? [:MEDIA] "PATHS" :TRAVELPLAN
IFELSE EMPTY :MOVEPATH ; 移動するPLINKが導きだされたか
[ MWE "TRAVELPLAN GET.DEFAULT.PLINK] ; [false] デフォールトルールで移動するPLINKを決める
[ MWE "TRAVELPLAN FIRST :MOVEPATH] ; [true] 一番最初に導きだされたPLINKを選ぶ。
END
```

```
ASK :NET [TO CREATE.TRIPLAN :QUEUE [:RESULT []]] ; トラベルプランを形成するための手続き
IF EMPTY :QUEUE [OP :RESULT]
LOCALMWE "PATH FIRST :QUEUE
PUBLICMWE "THISLINK FIRST :PATH
LOCALMWE "PATHLIST EXTENDPATH :PATH SE :RESULT :QUEUE ; トラベルプランの枝を伸ばす。
IF EMPTY :PATHLIST
[OP (CREATE.TRIPLAN IF :QUEUE INPUT :PATH :RESULT)] ; <1>枝がもう伸びない場合
IF NOT EMPTY FILTER1 [EQUAL FIRST ? "NR" :PATHLIST
[IFELSE EQUAL ASK :TOP_GOALLINK [:TARGET] ASK :THISLINK [:TARGET]
[OP []] ; <1>トップゴール (目的地) に着いた場合
[OP (CREATE.TRIPLAN SE :PATHLIST IF :QUEUE :RESULT)] ; <1>サブゴールに着いた場合
IF NOT EMPTY FILTER1 [EQUAL FIRST ? "NR" :PATHLIST
[OP (CREATE.TRIPLAN SE :PATHLIST IF :QUEUE INPUT :PATH :RESULT)] ; <1>サブゴールの近くに着いた場合
OP (CREATE.TRIPLAN SE :PATHLIST IF :QUEUE :RESULT) ; <1>深さ優先 (depth, first) でLINKを選び枝を伸ばす
END
```

```
ASK :NET [TO EXTENDPATH :PATH :FOUNDPATHLIST] ; トラベルプランの枝を伸ばす手続き
OP MWE [INPUT :PATH] REMOVE.LOOP APPLYTR FIRST :PATH :PATH :FOUNDPATHLIST ; トラベルルールを適用し、さらにループを除く
END
```

```
ASK :NET [TO APPLYTR :TEMPLATELINK] ; トラベルルールを適用する手続き
IF WORK :TEMPLATELINK [OP []]
OP (SE FINXVIS :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKと照合するVLINKを選ぶ。
FINXSIG :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKと照合するSLINKを選ぶ。
FINXGUD :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKと照合するGLINKを選ぶ。
FINXMEM :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKと照合するMLINKを選ぶ。
FINXPHYS :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKと照合するPLINKを選ぶ。
GETSUB :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKに代替するLINKを選ぶ。
ARRIVEOP :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKは到着を示しているか確かめる。
NEARP :TEMPLATELINK ; TEMPLATELINKは接近を示しているか確かめる。
END
```

```
ASK :NET [TO GET.DEFAULT.PLINK] ; デフォールトによって移動するPLINKを決める手続き
LOCALMWE "DEFAULT.PLINK FINNENPLINK
IF EMPTY :DEFAULT.PLINK [OP []]
OP :DEFAULT.PLINK
END
```

```
ASK :NET [TO EXECUTE] ; 実行のための手続き
IF EMPTY :TRAVELPLAN [TOPELVEL]
FOUMLINK :TRAVELPLAN
MWE "TRAVELPLAN UNQUEIP CHANGE.TRIPLAN :TRAVELPLAN MWESE [DIVIDE.PATH ?] :TRAVELPLAN
MOVEONEXPLACE :TRAVELPLAN
END
```


第4章. 経路探索のシミュレーション

この章では、第3章で導入した経路探索の計算論的モデルにもとづいて、経路探索のシミュレーションを行なう。それによって経路探索のプロセスについて経験的に提出された諸概念に対して、計算論的観点から一貫性と整合性を備えた説明を与える。

4.1節では、シミュレーションの具体的方法について述べる。USネットワーク、WFタートル、経路探索課題の順に設定してゆく方法を整理する。さらに、3章の例をつかってシステムの挙動を細かく追う。4.2節では、実験の再現シミュレーションを試みる。4.3節では、実験にもとづいて提案された経路探索の経験的な諸概念に対して、4.2節でのシミュレーションをふまえて計算論的モデルによる解釈を与える。4.4節では、この計算論的モデルを使って経路探索の状況に相当する新しいマイクロワールドを作成していく方法について述べる。さらに、探査、探索、通い、散策といった経路探索の状況に対する解釈を与える。

4.1. シミュレーションの手順とシステムの基本的な挙動

第3章で提案した計算論的モデルを用いて、シミュレーションを行なう具体的方法について述べる。まず、経路探索の状況を解釈するための枠組み（装置、役割、主題）に相当する、USネットワーク、WFタートル、経路探索課題を実際に設定してマイクロワールドを作成する。さらに、それらのパラメーターを様々に変更してシミュレーションを試みる。システムは物理的な移動だけでなく、各選択地点でおこなわれる内部的な情報処理プロセスをも表示することになる。それによってUSネットワークやWFタートルの設定が、経路探索行動に与える影響をみることができる。ここでは、第3章に挙げた小さなUSネットワークを例として、システムの挙動を細かく追うことにする。

4.1.1. USネットワークの設定

USネットワークは、都市空間についての知識を表現する。第3章で与えられたモデルは次のようなものであった。USネットワークの表現形式は場所とリンクからなるフレームの構造である。場所はさらに手掛かりと選択地点からなる。手掛かりは対象とする都市空間の中のランドマークとなる場所に、一方、選択地点は人間がそこを移動し経路探索に関する決定をする場所に相当する。リンクは、それらの場所の間に成立する空間的な関係で、メディアによって5種類に分けられる。リンクが示す内容は、アンカーやターゲットとなる場所の他に、方向、距離、ID、代理、注釈の情報である。これらをまとめると下のようになる。

1) 場所	1-1) 手掛かり	名前:	形状:	種類:
	1-2) 選択地点			
2) リンク				
フィジカル	7ノット	ターゲット	方向	距離
ビジュアル	7ノット	ターゲット	方向	距離
サイン	7ノット	ターゲット	方向	距離
ガイド	7ノット	ターゲット	方向	距離
メモリ※1	7ノット	ターゲット	方向	距離
			ID	代理
				注釈

※1 広い/狭い/渡る/込んでいる/すいている/危ない/入る/出る/上る/下る、など

※2 の前/わずかに、など

※3 MLINKには、そのMLINKを、利用できるタートルの情報も備わっている

表 4-1. US ネットワークのレパートリー

上の四角で示した各スロットに値が与えられることによって、対象とする都市空間が表現される。特に経路探索プロセスの進行にはリンクの情報が重要である。どのようなリンク情報が得られるかによって、経路探索の性格が変わってくるのである。

第3章で例として示したUS ネットワークは次のページに示すようなものであった。

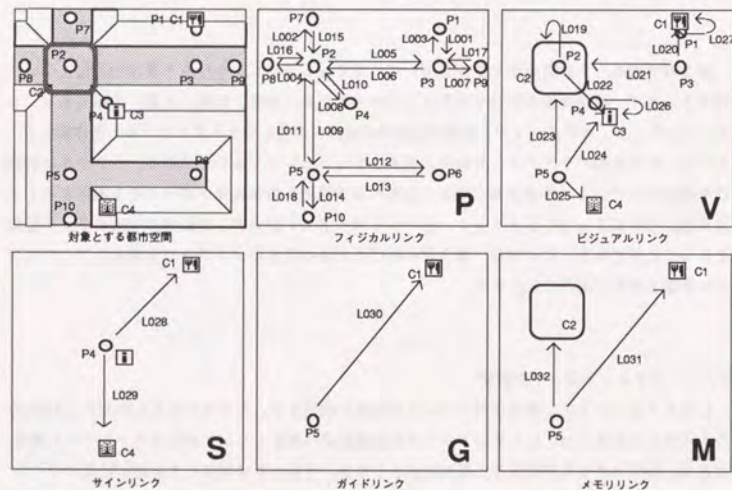


図 4-1. US ネットワークの例

4.1.2. WF タートルの設定

次に経路探索をする人間に相当するWF タートルを設定する。WF タートルの特徴を決定づけるのは、次に示すような、WF タートルが利用することのできるトラベルルールと、そのトラベルルールを適用してトラベルプランを形成する仕方を定めた制御構造である。

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1) トラベルルール | (1~9: 評価のトラベルルール, 10: 実行のトラベルルール) |
| 1. 到着 | ARRIVEDP IDに"AT"か"IN"があることによる到着の確認 |
| 2. 接近 | NEARP 距離がほぼ0になったことによる到着の確認 |
| 3. フィジカル | FINDPHYS 方向のマッチングによるPLINKの選択 |
| 4. ビジュアル | FINDVIS ターゲットのマッチングによるVLINKの選択 |
| 5. サイン | FINDSIG ターゲットのマッチングによるSLINKの選択 |
| 6. ガイド | FINDGUID ターゲットのマッチングによるGLINKの選択 |
| 7. メモリ | FINDMEM ターゲットのマッチングによるMLINKの選択 |
| 8. 代理 | GETSUB 代理のリンクの展開 |
| 9. デフォルト | GET.DEFAULT 標準的ルールによるPLINKの選択 |
| ※ランダム/直進/広い方へ/狭い方へ/渡る/込む方へ/すいた方へ/危ない方へ/入る/出る/上る/下る/交番へ/同じ通りを、など | |
| 10. 実行 | EXECUTE トラベルプランの実行 |
| 2) 制御構造 | |
| 幅優先・最初に導き出されたもの採用/
深さ優先・最初に導き出されたもの/深さ優先・多くの系列によって導き出されたもの | |

表 4-2. WF タートルのレパートリー

トラベルルールは表4-2.に示すように、10種類がある。9番目のデフォルトルールは、移動の方向を決定できるトラベルプランが形成できなかった時に起動されるルールである。10番目の実行のルールは、決定された移動の方向(フィジカルリンク)の方向に実際に移動し、移動に伴うトラベルプランの変更、記憶の変更(メモリリンクの変更、ただしこのモデルでは実現されていない)を行なう。制御構造には、深さ優先、幅優先などいくつかあるが、このモデルでは幅優先で、適応可能なルールはすべてチェックしてトラベルプランを形成する。トラベルプランから移動する方向(フィジカルリンク)を決定する競合の解消のルールとしては、最初に導きだされたものを選択することにする。

4.1.3. 経路探索課題の設定

経路探索の課題は、出発点と目的地を指示することで与えられる。出発点は、選択地点であり、目的地は手掛かりを指示することになる。妥当な課題設定としては、次のような3種類が考えられる。

- 1) 対象とする都市空間の入口から、手掛かりまで
- 2) 手掛かり間の移動
- 3) 手掛かりから、対象とする都市空間の出口まで

都市空間の入口や出口となるのは、徒歩の場合は駅や地下鉄出口、自動車の場合は幹線道路などである。また手掛かりの中で主要なものは、都市の中の主要な建物である。

先の例の中では、出発点として妥当なのは、P2（左上の交差点内）、P3（右上のレストランの前）、P5（左下の三叉路内）であろう（行き止まりや手掛かりの内部は出発点としなかった）。目的地は、C1（レストラン）、C2（交差点）、C3（案内所）、C4（噴水）が考えられる。

このようにしてUSネットワーク、WFタートル、経路探索課題が設定されることで、ひとつのマイクロワールドが設定されることになる。次に実際にコンピュータ上で、このようなマイクロワールドを作成していく手順を示すことにする。

4.1.4. システムの構成

コンピュータ上に実現されたシステムは、最初は、Macintosh Plus上で開発され、後に、Macintosh IIfx上で開発された。使われたプログラミング言語は、ObjectLogo (Coral Software)である。プログラミングの初期段階では、ExperLogo (Expertelligence)および、LCSI Logo (Logo Computer Systems Inc.)も利用された。日色、原、門内(1988b)のシミュレーションは、ExperLogoで開発されている。

ObjectLogoは、オブジェクト指向(object-oriented)のLogo言語である。ObjectLogoは、Logoの主要な特徴であるタートルグラフィックスやリスト処理の能力を備えている。その上で、オブジェクト指向の言語の特徴として、手続きとデータとをまとめた「オブジェクト」を導入することによって情報をカプセル化することができる。それによってプログラムのモジュール性と拡張性を高くすることができる。また、オブジェクト間に般化(generalization)の階層性が設定でき、上位のオブジェクトから下位のオブジェクトへの継承が実現される。そのため上位のオブジェクトで定義された手続きは下位のオブジェクトで自動的に利用することができる。

このようなObjectLogoを用いることによって、計算論的モデルにおいて提出したUSネットワークや、手掛かりと選択地点からなる場所、リンク、さらに、WFタートルなどをそのまま素直にオブジェクトとして定義することができる。また、トラベルルールは、WFタートルのもつ手続きとすることができる。

図4-2.に示すのは、このシステムによって経路探索のシミュレーションを行なった様子を示している。まずシステムは、SPACEウィンドウ、LISTENERウィンドウ、TALK TOウィンドウの3種類のウィンドウからなる。

SPACEウィンドウには、USネットワークとWFネットワークが表示され、経路探索による移動の軌跡が表示される。SPACEウィンドウ上には、そこをマウスでポイントをクリックすることで指示を出すボタンがいくつかある。それらは、場所やリンクを表示させたり消したりするために用いられる。

LISTENERウィンドウは、各選択地点で行なわれる経路探索プロセスの様子を表示する。このウィンドウに表示されるのは、USネットワークから獲得されたリンク情報にWFタートルのトラベルルールが適用されてトラベルプランが形成され、そのトラベルプランが実行に移さ

れることによってWFタートルが移動するという経路探索プロセスである。

TALK TOウィンドウは、ユーザーがシステムに指示を送るためのウィンドウである。このウィンドウには、いくつかのボタンがセットされている。それは、出発点を指示するSETORIGIN、目的地を指示するSETDEST、選択地点での経路探索プロセスを構成するEVALUATE、EXECUTE、それらを1サイクルだけ行なうCYCLE、それらを繰り返すよう指示するGOTOなどである。

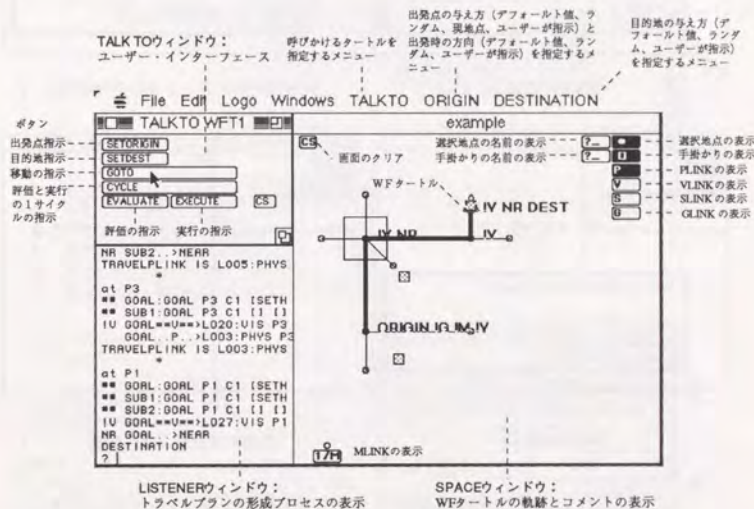


図4-2. システムの構成

4.1.5. シミュレーションの経過

このシステムを使って実際にシミュレーションを行なう手順を示す。まず、出発点を与えられ、次に目的地が与えられる。そこで移動を指示すると、画面上のWFタートルは移動を続け、移動の軌跡と、経路探索プロセスの表示がなされることになる。

例としてあげたものではなく、P5を出発点としてC1に行くことが課題として与えられる。シミュレーションの開始には、図4-3.に示すようにTALK TOウィンドウのボタンを使って指示をする。

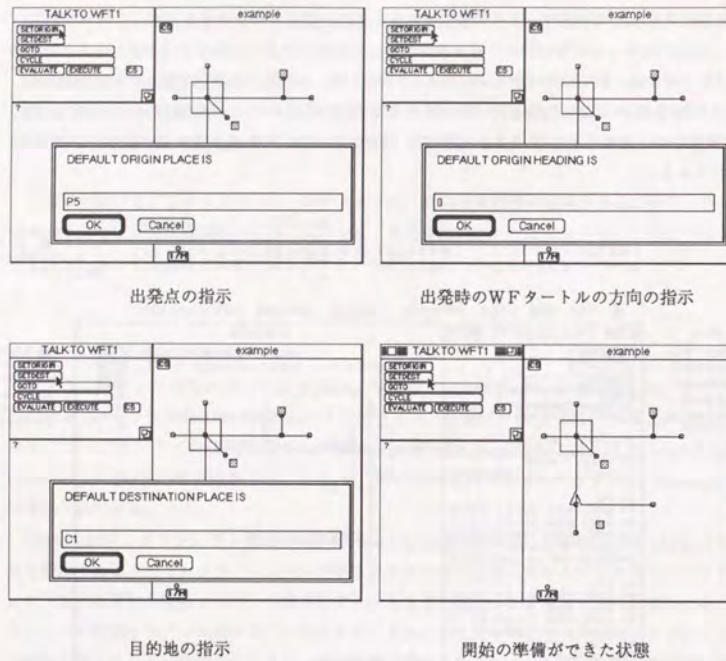
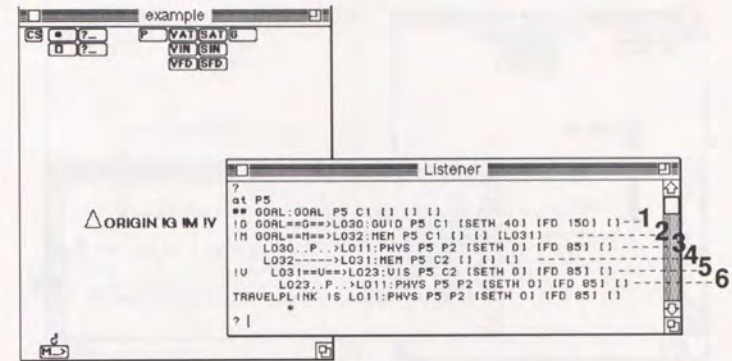


図 4-3. シミュレーションの開始

次ページ以降にシミュレーションの経過を、4つの選択地点 (P5, P2, P3, P1) を一つずつ移動することに細かく示してある。



- 1...C1に行くにはガイドによると方向40、距離150..... IGと表示される
- 2...C1に行くのは記憶がある..... IMと表示される
- 3...1とすると、移動するのは方向0、距離35へ
- 4...2の記憶では、代わりにC2に行けばよい
- 5...C2に行くには、視覚によると方向0、距離85..... IVと表示される
- 6...5とすると、移動するのは方向0、距離35へ

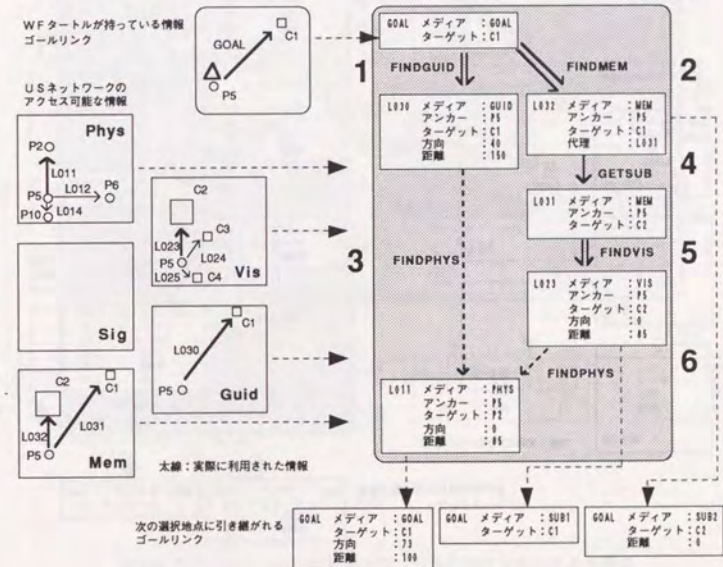
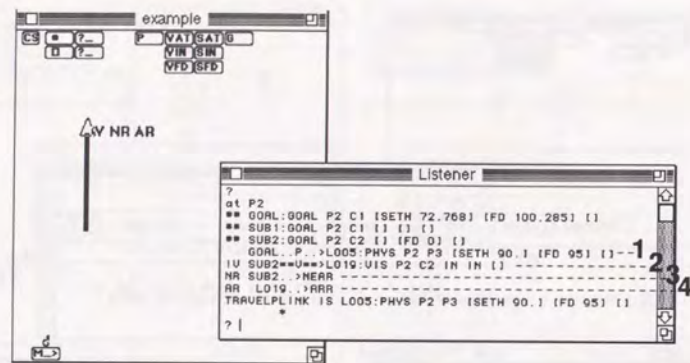


図 4-4. シミュレーションの経過-1 P5における表示とその解説



- 1...C1は方向73、距離100だから、移動するのは方向90、距離95
- 2...C2に行くのは視覚によると..... IVと表示される
- 3...C2に接近している..... NRと表示される
- 4...2の視覚によると、既ここはC2の中で、到着している..... ARと表示される

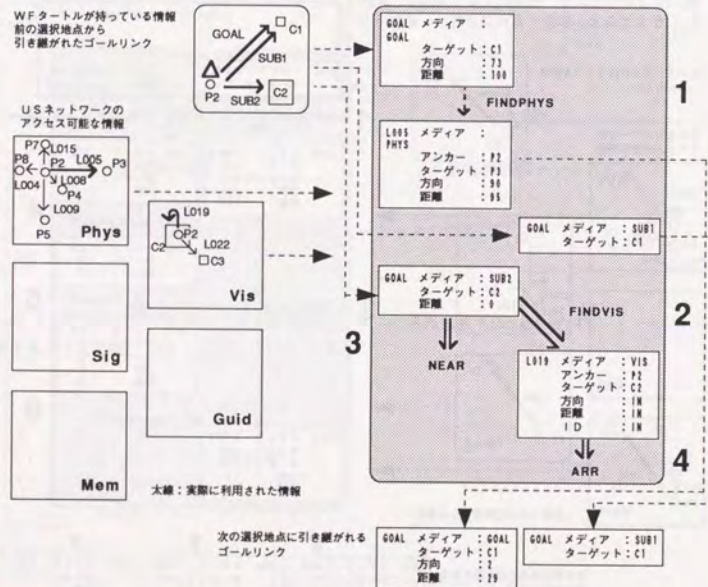
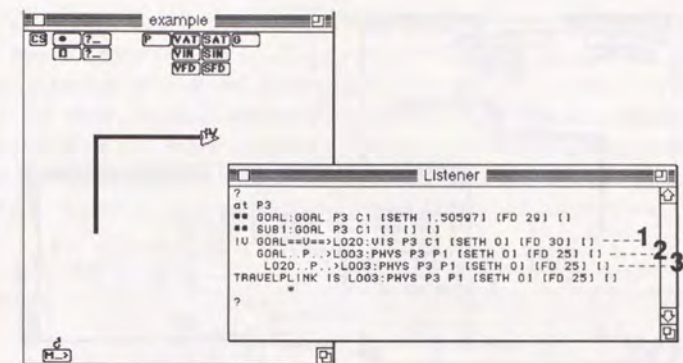


図 4-5. シミュレーションの経過-2 P2 における表示とその解説



- 1...C1に行くには視覚によると方向0、距離30..... IVと表示される
- 2...C1は方向2、距離29だから、移動するのは方向0、距離25へ
- 3...1とすると、移動するのは方向0、距離25へ

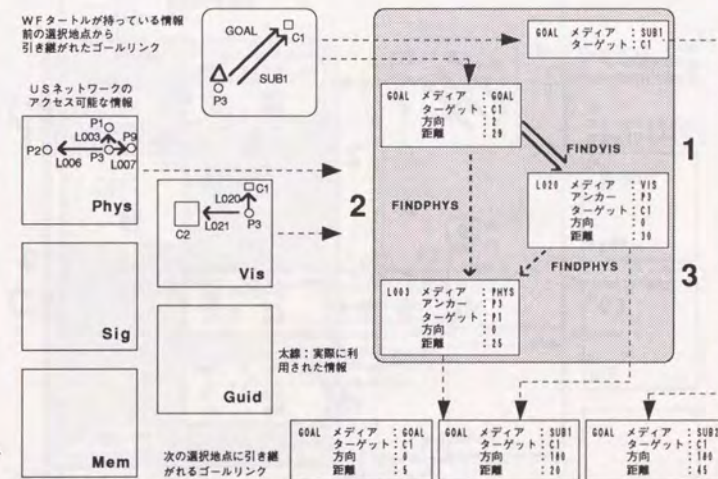
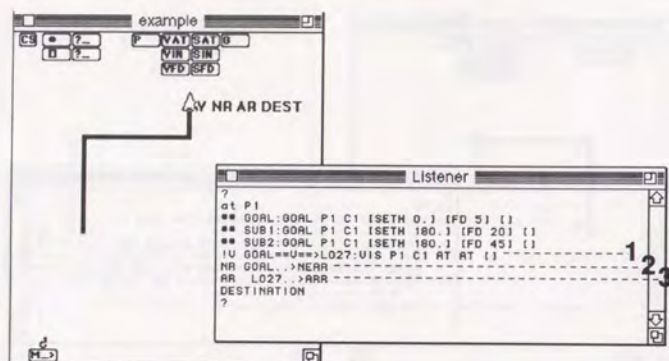


図 4-6. シミュレーションの経過-3 P3 における表示とその解説



- | | |
|-----------------------------------|----------|
| 1...C1に行くには視覚によると..... | IVと表示される |
| 2...C1に接近している..... | NRと表示される |
| 3...1の視覚によると、既にここはC1に、到着している..... | ARと表示される |

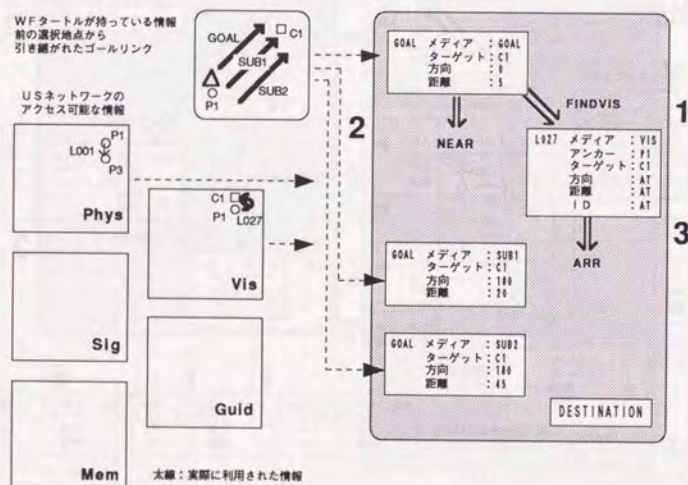


図 4-7. シミュレーションの経過-4 P1 における表示とその解説

4.1.6. 可能な経路

前ページまでに示したようなシミュレーションを、すべての出発点（P2：左上の交差点内、P3：右上のレストランの前、P5：左下の三叉路内）と、目的地（C1：レストラン、C2：交差点、C3：案内所、C4：噴水）の組み合わせについて行なったのが下の図である。出発点と目的地の組み合わせに対して複数の経路が発生しているものは、トラベルプランが形成できずデフォルトルール（ここでは「戻る以外をランダムに選ぶ」というもの。図中には「？」が表示される）にしたがって選ばれる進行方向にいくつかの場合が発生したことを示している。

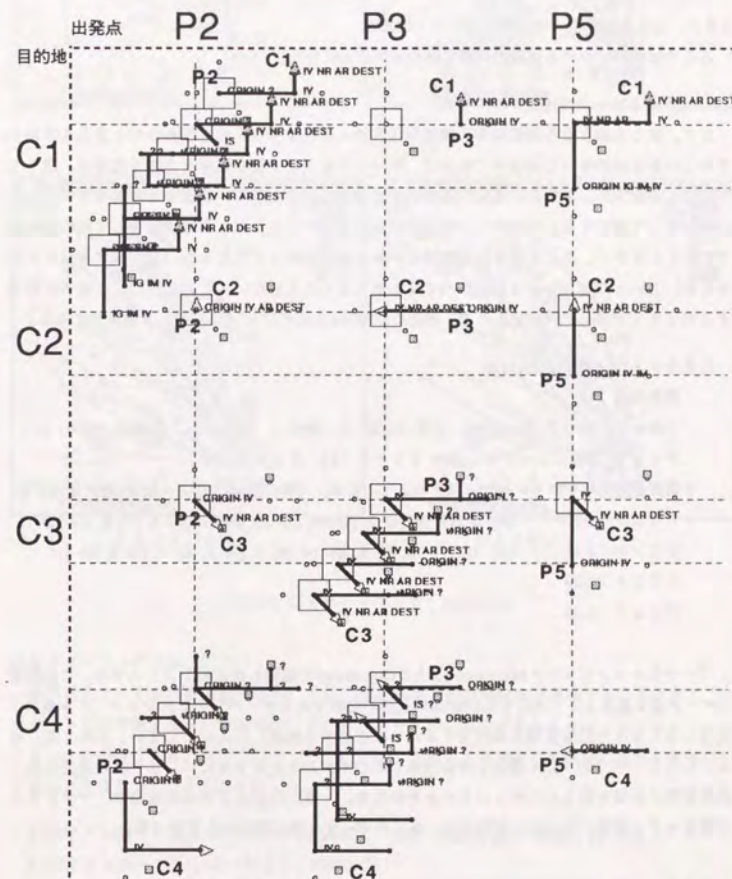


図 4-8. 可能な経路

4.2. 実験の再現シミュレーション

この節では、経験的モデルにおける各概念に対して計算論的モデルにもとづく解釈を与えるために、実験の再現を試みる。WF タートルと U S ネットワークを適切に設定することで、経路探索実験の結果をある程度再現できることが示される。

4.2.1. U S ネットワークとWF タートルの設定

ここでは渋谷における実験の再現の例を示すことにする。

1) U S ネットワークの設定

まず、扱う主題となる経路探索の課題の性質からどのようなものを手掛かりと考えるのがふさわしいかを定める（この場合であれば、デパートなどの主要な建物と主要な交差点、通りを手掛かりとする）。さらに、地図に基づいて交差点、行き止まり、手掛かりの前や中などを選択地点として設定する。次にリンク情報の設定であるが、これは、実地調査をして始めて確認できることも多い。たとえばどの選択地点からどの手掛かりが見えるか（ビジュアルリンクがあるか）といったことなどは地図からではわからないことが多い。このようにして渋谷に相当する U S ネットワークが設定される。設定の詳細は4.5節のプログラムリストに示してある。

U S ネットワーク：SHIBUYA

選択地点：80

手掛かり：28（デパート：13、交番：2、駅：1、銅像：1、交差点：4、広場：1、通り：6）、
P リンク：248、V リンク：169、S リンク：23、G リンク：22、

1 選択地点あたりのリンク数は以下になる。（例。[2]-7：リンク数2の選択地点が7）

P リンク：3.10 ([0]-0, [1]-19, [2]-7, [3]-28, [4]-16, [5]-10, [6]-4, [7]-0, [8]-1,)

V リンク：2.11 ([0]-12, [1]-30, [2]-9, [3]-14, [4]-7, [5]-1, [6]-4, [7]-2, [8]-1,)

S リンク：0.29

G リンク：0.28

パーソナルコンピュータ Macintosh Cx 上の ObjectLogo で開発したこのシステムでは、この程度のデータ量を越えると、実行中に LISP 系の言語の特徴であるガーベジコレクション（ごみ集め：使用しなくなった記憶領域を再利用するために回収する処理）に入ってしまう、かなり遅くなる。したがって、より広く複雑な対象領域にこのモデルを適用するには、より処理速度の速い他の言語に移植を図った方がよいものと思われる。一般に Logo などの高級言語は、プロトタイプ的なモデル構築には非常に便利だが、多くのデータを扱う応用的な側面は弱い。

U S ネットワーク SHIBUYA で設定されたリンクは、次のようなものである。

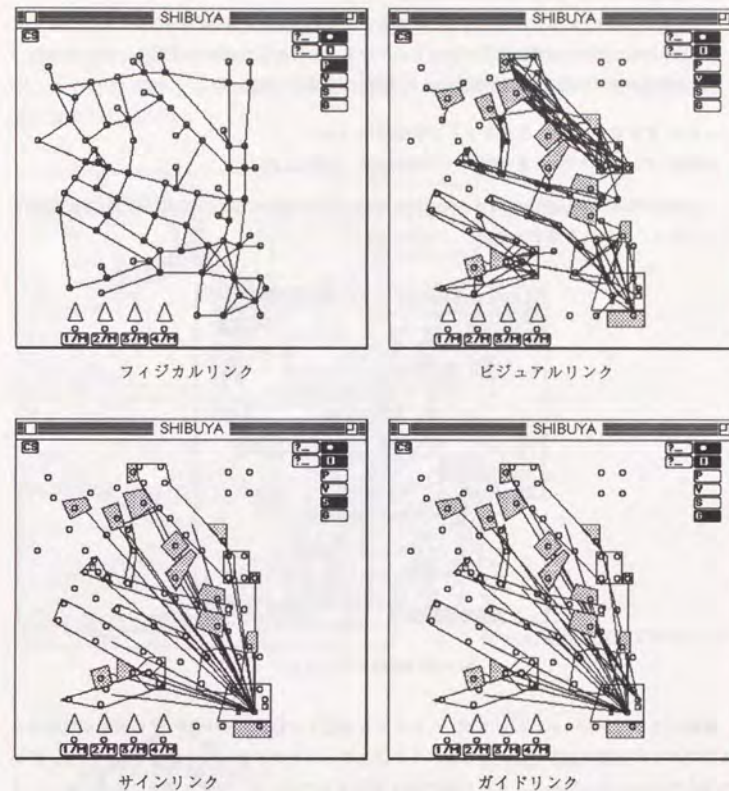


図4-9. U S ネットワーク：SHIBUYA

2) WF タートルの設定

次に WF タートルの設定を行なう。まず、HK の被験者の経路探索を再現することにする。WF タートルの特徴を決定づけるのは、その WF タートルが利用できるトラベルルールと、メモリリンクの内容による。メモリリンクについては、実験中と実験後の被験者の発言を参考にし、次のような5つを与えることにした。

[L901] アンカー：SU、ターゲット：HANDS、方向：SETH 330、距離：FD 120

[L902] アンカー：SU、ターゲット：PARCO1

[L903] アンカー：SU、ターゲット：PARCO3、代理：L901, L902

[L903] SU から PARCO3 に行くためには、代理となる方法として、[L901] HANDS に行くと、

[L902] PARCO1に行く、という2つがある。さらに[L901]のHANDSに行くという方法については、方向と距離の情報が与えられている。ただしこの距離の情報は、SUから現実のHANDSまでの距離の半分程度のもので誤って記憶されている。

[L904] アンカー：TW、ターゲット：SHIBUYA_CRS

[L905] アンカー：TW、ターゲット：PARCO3、代理：L904

[L905] TWからPARCO3に行くためには、代理となる方法として、[L904] SHIBUYA_CRSに行く、という方法がある。

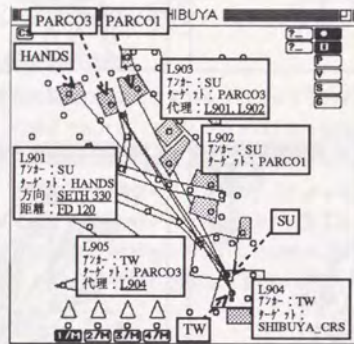


図 4-10. HKのメモリンク

最後にトラベ ルルールについては、これまでに設定したU Sネットワークの情報が利用できるだけのものがあればよい。それ以上のトラベ ルルールをW Fタートルが持っていて、使われることがないからである。さらにHKの例を再現するためには、ガイド情報は利用しない。そこで、ガイドを用いるトラベ ルルールを与えないことにする。

U Sネットワーク		W Fタートル	
フィジカルリンク	方向・距離	■	<->
注釈	■	■	<->
ビジュアルリンク	方向・距離	■	<->
注釈	■	■	<->
サインリンク	方向・距離	■	<->
注釈	■	■	<->
ガイドリンク	方向・距離	■	<->
注釈	■	■	<->
メモリンク	方向・距離	■	<->
注釈	■	■	<->
	代理	■	<->
	注釈	■	<->

表 4-3. HKの再現のためのU SネットワークとW Fタートルの組み合わせ

4.2.2. 実験の再現シミュレーション 1.

前項までの設定にもとづいて行なったシミュレーションの一つの例が下のようなものとなった。この例は、経路としては実験と同じものであり、表示される内容もかなりの程度実験に一致したものとなった。



図 4-11. 渋谷の実験 探索 HKの例



図 4-12. 実験の再現
シミュレーション例 1-1.

太い文字がシミュレーションの表示
細い文字は説明のために付けた選択地点の呼称

次に、前ページに示した、実験を比較的良好に再現したHKのシミュレーションの例について、さらに細かく見ることにする。システムによって表示される経路探索のプロセスの展開の様子と、実験で得られたプロトコルとを比較することにする。

4.2.3. シミュレーションと実験のプロトコルとの比較

各選択地点ごとに、実験のプロトコル、シミュレーション、シミュレーションの内容の日常的な言葉での解説の順で示すことにする。

左はプロトコル分析での地点番号、右はルート表記上の地点の記号

() 内は分析者が付け加えたもの 下線は経路探索に強く関係する発言として最終的に表示するもの

言語プロトコル	都市空間についての情報	ゴール	発見と迷い
○1.....<a>			
1 じゃあ行きます。			
2 いま、まずスクランブルの交差点のところへ、	V ハチ公前交差点		
3 まず行って		Ap ハチ公前交差点へ行く	
4 えーと、どこを目指すかというところ、バルコの3、	M バルコ3 [よくわからない]	Ap バルコ3を目指す	
5 バルコの3は、よくわからないんですけども、			
6 いうわ、話した方がいいでしょ			
ORIGIN			
at: TW			
## GOAL:GOAL TW PARCO3 [] [] []			
IM GOAL=>L905:MEM TW PARCO3 [] [] [L904]			
L905=>L904:MEM TW SHIBUYA CRS [] [] []			
IV L904=>L466:VIS TW SHIBUYA CRS [SETH 337.932] [FD 39.9249] [] []			
L466..P..>L295:PHYS TW SU [SETH 343.61] [FD 17.72] [] []			
TRAVELPLINK IS L295:PHYS TW SU [SETH 343.61] [FD 17.72] [] []			
※PARCO3に行くためには記憶ではSHIBUYA_CRSに行けばよい。SHIBUYA_CRSは見えている。その方向に行く。			
○2.....			
7 何となくあの今見えてる渋谷センター街というのを	V 渋谷センター街 [あの]		
8 目指します、まず		Ap 渋谷センター街を目指す	
9 [なんでも]			
10 えーと、あれの裏の方に、東急ハンズがあって、	M 東急ハンズ [あれの裏の方に]		
11 そこには行ったことがあるんだけど、	M 東急ハンズには行ったことがある		
12 その近くにバルコの何かがあった、	M バルコの何か[東急ハンズの近く]		
13 というのは知ってるんですよ。			
14 わるいけど。だから、そこへ。		Ap (東急ハンズ) [そこへ]	
15 だいたいあの辺だな、というのがあったら	M (バルコ) [だいたいあの辺]		
16 その辺に行ってみようと思います。		Ap (バルコ) [その辺]	
17 というわけで、センター街へ。		Ap 渋谷センター街へ	
at: SU			
## GOAL:GOAL SU PARCO3 [] [] []			
## SUB1:GOAL SU SHIBUYA CRS [SETH 333.431] [FD 22.3607] [] []			
IM GOAL=>L903:MEM SU PARCO3 [] [] [L901 L902]			
L903=>L901:MEM SU HANDS [SETH 330] [FD 120] [] []			
L903=>L902:MEM SU PARCO1 [] [] []			
L901..P..>L288:PHYS SU QR [SETH 320.194] [FD 39.0512] [] []			
IV SUB1=>L418:VIS SU SHIBUYA CRS [SETH 333.435] [FD 22.3607] [IN] []			
SUB1..P..>L287:PHYS SU RR [SETH 344.055] [FD 36.4005] [] []			
AR L418..>ARR			
TRAVELPLINK IS L288:PHYS SU QR [SETH 320.194] [FD 39.0512] [] []			
※PARCO3に行くためには記憶ではHANDSに行く、PARCO1に行くという方法がある。HANDSは記憶では、SETH 330の方向、FD 120の距離にあった。その方向に行こう。ここはSHIBUYA_CRSの中なので、SHIBUYA_CRSには既に到着している。			

表 4-4. プロトコルとシミュレーションの比較

○.....			
18 いま、わたって、	P [わたって]※		
19 で、いまゲートの真下を、			
20 いま通過しました、まだか。			
21 いま、通過しましたね。	V (渋谷センター街ゲート) [下を通過]		
22 というわけで、えーと、			
23 で、どうしようかな。			
24 こっから先は、実はよくわからないんですけども			
25 えーと、東急ハンズって、	M 東急ハンズ		
26 [ダンキン・ドーナツの前。]			
27 ミュンヘンってのがありますけども、	V ミュンヘン(喫茶店)		
28 えーと、よくわからないんですけども、			? よくわからない
at: QR			
## GOAL:GOAL QR PARCO3 [] [] []			
## SUB1:GOAL QR HANDS [SETH 334.666] [FD 81.8596] [] []			
## SUB3:GOAL QR PARCO1 [] [] []			
SUB1..P..>L248:PHYS QR QR [SETH 315.] [FD 28.2843] [] []			
TRAVELPLINK IS L248:PHYS QR QR [SETH 315.] [FD 28.2843] [] []			
※PARCO3に行く、HANDSに行く、PARCO1に行くという3つのゴールがある。HANDSは、SETH 334.7の方向、FD 81.9の距離だ。その方向に行こう。			
○4.....<c>			
29 東急ハンズっていうのは、ここを、			
30 東急ハンズへ行くときは、			
31 これを左に行ったと思うんですけども、	M 東急ハンズ [これを左に]		
32 あれはやはり左の方にはなかったから、	M (東急ハンズ) [やはり左の方には]		
33 もっと手前の方にあるんじゃないかと思うんで	M (バルコ3) [もっと手前に]		
34 ここを右に曲がります、ばくは。		Ap ここを右に曲がる	
35 [アービーズのところを右に曲がりますね]			
36 ああ、アービーズ、アービーズ。	V アービーズ		
37 左手は工事中。	V 工事中 [左手は]		
38 で、パチンコ屋、	V パチンコ屋		
39 あっ、ゲーム屋があって、	V ゲーム屋		
○5.....			
40 で、正面にあるのが、うーん、正面に西武か。	V 西武B [正面に]		
41 ああ、あれが西武か。	V 西武B [あれ]		
42 これも、あそこも。			
43 この右手にあるのも西武なんですね、ふーん。	V 西武A [この右手にある]		
at: CP			
## GOAL:GOAL CP PARCO3 [] [] []			
## SUB1:GOAL CP HANDS [SETH 344.443] [FD 55.0818] [] []			
## SUB2:GOAL CP PARCO1 [] [] []			
SUB1..P..>L280:PHYS CP PM [SETH 18.4349] [FD 31.6228] [] []			
TRAVELPLINK IS L280:PHYS CP PM [SETH 18.4349] [FD 31.6228] [] []			
※PARCO3に行く、HANDSに行く、PARCO1に行くという3つのゴールがある。HANDSは、SETH 344.4の方向、FD 55.1の距離だ。その方向に行こう。			
○6.....<d>			
44 で、えーと、これは、どこなのかな。わからん。			? わからん
45 T字路に出ました。	V T字路		
46 右手に、なんか空中歩廊が見えますけども、	V 空中歩廊 [右手に]		
47 渋谷パレス座、	V 渋谷パレス座		
48 左に曲がります、こっちは、		Ap 左に曲がる こっち	
49 なんと左に曲がるかっちは、まあ、あれだけど			
50 右手に線路が走ってるんで	V 線路 [右手に]		
51 あっじゃないだろう、というわけです。	M (バルコ) [あっちじゃない]		
at: PM			
## GOAL:GOAL PM PARCO3 [] [] []			
## SUB1:GOAL PM HANDS [SETH 312.952] [FD 32.5269] [] []			
## SUB2:GOAL PM PARCO1 [] [] []			
SUB1..P..>L241:PHYS PM NM [SETH 284.036] [FD 20.6155] [] []			
TRAVELPLINK IS L241:PHYS PM NM [SETH 284.036] [FD 20.6155] [] []			
※PARCO3に行く、HANDSに行く、PARCO1に行くという3つのゴールがある。HANDSは、SETH 313.0の方向、FD 32.5の距離だ。その方向に行こう。			

表 4-4. つづき プロトコルとシミュレーションの比較

○7-----<e>
 52 で、この辺なんじゃないかと思うんだけど。 M (バルコ) [この辺]
 53 ロフトか、ロフトか。 V ロフト
 54 ちょっと、ここで立ち止まって、 Bp ここで立ち止って
 55 あの、あそこ向こうの方に行ける道があるんで Bp 向こうに行く
 56 横断歩道をわたります。 V 向こうに行ける道 [あそこ]
 57 バス座の前ですね。 V バス座 [の前]
 58 で、左手がロフト。 V ロフト [左手が]
 59 で、そろそろ。
 60 この辺にあるんじゃないかって気がするんですけど M (バルコ3) [そろそろこの辺に]
 61 と思って、思いながら歩いてきよろきよろしながら
 62 ロフトってのは... V ロフト
 ○8-----
 63 【いま、ロフトの入口の前ですね。】
 64 入口の前ですね。 V (ロフト) [入口の前]
 65 コカコーラの自動販売機をだれか修理してますね。 V コカコーラの自動販売機
 66 金魚さんがありますね。 V 金魚や
 67 あれっ、この辺は全然ぼろは知らないぞ。 M この辺は全然知らないぞ
 68 わからない、全くの。 ? あれっ
 69 来たことがない。こは。 ? わからない
 70 ウェズバー(?)?
 71 ちょっと困ったな。
 72 これもし時間待ちしててあせって行くんだしたら、
 73 結構あせると思いますが、
 74 こういふ状況ってのは。
 75 【なるほど】
 76 でも、今日は別に、
 77 【約束の時間が迫っているわけではないから】
 78 ないから、あまりあせりはしないけど、
 79 でもちょっと困ったな、わからないから。
 ? 困ったな

at NM
 ## GOAL:GOAL NM PARCO3 [] [] [] []
 ## SUB1:GOAL NM HANDS [SETH 347.489] [FD 18.4391] [] []
 ## SUB2:GOAL NM PARCO1 [] [] [] []
 SUB1..P..>L114:PHYS NM NK [SETH 0] [FD 20] [] []
 NR SUB1..>NEAR
 ? default..P..>L013:PHYS NM PH [SETH 29.0546] [FD 51.4782] [] []
 TRAVELPLINK IS L013:PHYS NM PH [SETH 29.0546] [FD 51.4782] [] []

※PARCO3に行く、HANDSに行く、PARCO1に行くという3つのゴールがある。HANDSは、SETH 347.5の方向、FD 18.4の距離だ。もうHANDSに十分に接近しているはずだ。移動するフィジカルリンクが決められない。デフォールトルールにしたがって移動する方向を選ぶ。

○9-----<g>
 80 えーと、何か、道に出ちゃったけど。 V 何か道
 81 これはどこの道なんだろう。 M これはどこの道なんだろう
 82 【出ましたね。】
 83 えー、丸井? V 丸井
 84 あっ、あー、左にバルコがありますね。 V バルコ [左に] | あっあー
 85 あれじゃないかな。あの正面の。 V バルコ [正面の]
 86 あそこへ行きます。 Ap あそこに行く
 87 山手教会。 V 山手教会

at PH
 ## GOAL:GOAL PH PARCO3 [] [] [] []
 ## SUB1:GOAL PH PARCO1 [] [] [] []
 IV SUB1=V=>L523:VIS PH PARCO1 [SETH 309.289] [FD 71.0634] [] []
 L523..P..>L226:PHYS PH CG [SETH 315.] [FD 21.2132] [] []
 TRAVELPLINK IS L226:PHYS PH CG [SETH 315.] [FD 21.2132] [] []

※PARCO3に行く、PARCO1に行くという2つのゴールがある。PARCO1が見えた。その方向に行く。

○10-----
 88 えーと、日本山手教会が見えます。 V 山手教会
 89 えー、今は、西武の、なんですかこれは。 V 西武の何々 [これは]
 90 シードってかいてある所の、前を過っていますけども V シード [の前]
 91 あの、あの壁は波紋の(?)かな、あの彫刻
 92 違うかな、まあ彫刻ないや
 93 山手教会の前をいま過っています。 V 山手教会 [の前]
 94 バルコ、このバルコ... V バルコ [この]
 95 今もまだ、山手教会の前か。 V 山手教会 [の前]
 96 マンション。 V マンション

表 4-4. つづき プロトコルとシミュレーションの比較

at CG
 ## GOAL:GOAL CG PARCO3 [] [] [] []
 ## SUB1:GOAL CG PARCO1 [SETH 306.869] [FD 48.6004] [] []
 IV SUB1=V=>L524:VIS CG PARCO1 [SETH 306.87] [FD 50] [] []
 SUB1..P..>L225:PHYS CG ME [SETH 315.] [FD 21.2132] [] []
 TRAVELPLINK IS L225:PHYS CG ME [SETH 315.] [FD 21.2132] [] []

※PARCO3に行く、PARCO1に行くという2つのゴールがある。PARCO1はSETH 303の方向、FD 53の距離だ。そちらの方向に行く。

○11-----
 97 有料駐車場の前ですね。 V 有料駐車場 [の前]
 98 バルコ。 V バルコ
 99 ここからなんかベントニングがしてある。 V カーパ(ベント) [ここから]
 100 徳永英明(?)のミュージックショー、最後の言い訳。 V 徳永英明の広告
 101 笑っちゃう。

at ME
 ## GOAL:GOAL ME PARCO3 [] [] [] []
 ## SUB1:GOAL ME PARCO1 [SETH 300.959] [FD 28.6531] [] []
 IV SUB1=V=>L530:VIS ME PARCO1 [SETH 300.964] [FD 29.1548] [] []
 SUB1..P..>L224:PHYS ME ID [SETH 315.] [FD 14.1421] [] []
 TRAVELPLINK IS L224:PHYS ME ID [SETH 315.] [FD 14.1421] [] []

※PARCO3に行く、PARCO1に行くという2つのゴールがある。PARCO1はSETH 301の方向、FD 30の距離だ。そちらの方向に行く。

○12-----<h>
 102 バルコ、これは、何なんだろうなあ。 V バルコ [これは]
 103 何なんだろう。 ? 何なんだろう
 104 【バルコの前に来たんですが。】
 105 これ、バルコパート3なのか、どうか。 V これバルコパート3なのかどうか ?
 106 バルコ劇場? V バルコ劇場 ?
 107 わからんのだよなあ、わるいけど。 ? わからん
 108 これ、地図とか見ちゃってもいいの? V 地図
 109 【まあ、いいですよ。】
 110 いい、悪いけど。
 111 おれ、見ちゃうわ、やっぱり、こういう時。 Bp 地図を見る
 112 ほんと知らないから。
 113 あっ、1、2、3ってのは、つながってるのか。 S 1、2、3、はつながってる
 114 現在地がどこのかわからない、これでは。
 115 えーと、現在地がよくわからないんだけど。
 116 ロフトって、
 117 あっ、ロフトがあって、 S ロフト
 118 シードがあって、 S シード
 119 あっ、こういうふうに、
 120 いま、じゃこれ、歩いてきたの、公園通りなんだな S 公園通り [これ]
 121 あっ、じゃ、これがパート1か。 S バルコ3 [これが]
 122 あっ、じゃ、わかった、パート3。 S バルコ3
 123 【じゃ、行きましょう。】 | わかった
 124 うん、行きましょう。
 125 【左の方へ行きますね。】
 126 左へ行きます。 Ap 左に行く

at ID
 ## GOAL:GOAL ID PARCO3 [] [] [] []
 ## SUB1:GOAL ID PARCO1 [SETH 288.431] [FD 15.5242] [] []
 IS GOAL=S=>L701:SIG ID PARCO3 [SETH 250] [FD 40] [] []
 L701..P..>L211:PHYS ID IF [SETH 236.31] [FD 36.0555] [] []
 IV SUB1=V=>L505:VIS ID PARCO1 [SETH 288.435] [FD 15.8114] [] []
 SUB1..P..>L109:PHYS ID KD [SETH 288.435] [FD 15.8114] [] []
 NR SUB1..>NEAR
 TRAVELPLINK IS L211:PHYS ID IF [SETH 236.31] [FD 36.0555] [] []

※PARCO3に行く、PARCO1に行くという2つのゴールがある。PARCO3はサインではSETH 250の方向、FD 40の距離にある。そちらの方向に行く。PARCO1はSETH 288の方向、FD 16の距離だ。PARCO1にはもう十分に接近している。

表 4-4. つづき プロトコルとシミュレーションの比較

○13
 127 パート1の入口の前を通り過ぎて。 V パルコ1 [入口の前]
 128 この細い道へ出て。
 129 スティングの看板が、看板じゃない。
 130 スティングが何かありますけども。
 131 ポスターの看板を、登ってるポスターの前を通過、 V スティングのポスター [の前]
 132 どうも、こっちの方にあるらしいって。 M (パルコ3) [こっちの方]
 133 ああ、あれ、ライズですね、渋谷の。 V ライズ [あれ]
 134 【くわしい。】
 135 そういところで、やっぱ、なんか、出ちゃう。
 136 男闘呼組(?)のポスターがありますけども。 V 男闘呼組のポスター
 137 この辺なんじゃないかと、思うんだけど。 M パルコ3 [この辺]
 138 パルコ。いっぱいあるね。
 139 SR6(?)、これじゃないでしょ。 V SR6 [これ]
 140 ライズ、ライズ、なんかやってるね。 V ライズ
 141 ダーティーハリーって、やってますね。 V ダーティーハリーの看板
 142 スーパーバザー。 V スーパーバザーの広告
 ○14
 143 あっ、あっ、わかった。
 144 見えました。パート3って字が。
 145 えー、あれが目に入ったんで。
 146 たぶんここなんじゃないかと思えますけども。 S (パルコ3) [ここ]
 147 というわけで。

at IF
 ## GOAL:GOAL IF PARCO3 [SETH 309.787] [FD 10.6301] [] []
 IV GOAL==V==>L504:VIS IF PARCO3 [SETH 286.699] [FD 10.4403] [] []
 GOAL..P..>L108:PHYS IF HE [SETH 315.] [FD 14.1421] [] []
 NR GOAL..>NEAR
 DESTINATION

※PARCO3に行くというゴールがある。PARCO3は見えていてSETH 286の方向、FD 10の距離にある。
 PARCO3に十分接近した。目的地に到着した。

表 4-4. つづき プロトコルとシミュレーションの比較

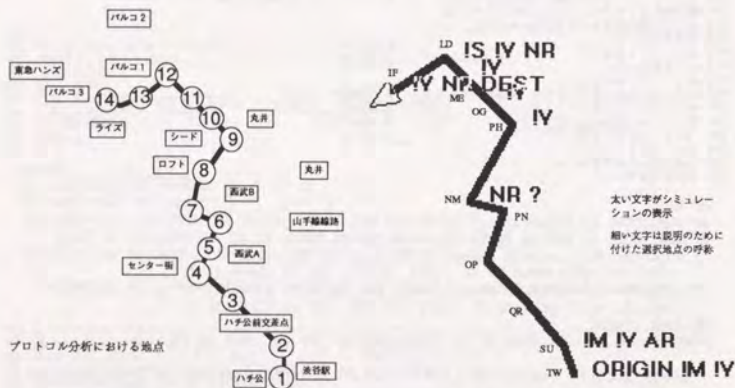


図 4-13. プロトコルとシミュレーションの比較

4.2.4. 他の経路の生成

前項ではHKの被験者の経路と対応する経路を生成したメモリンクの設定であっても、必ずしもいつも同じ経路が生成されるわけではない。下に示すように同じ設定から多様な経路が生成されるのである。これらの違いは、もっぱら選択地点NMで適用されるデフォルトルールの結果によっている。前項の例の場合、NMから図で上の方に行くことによって公園通りに出て、PARCO1を見つけることができ、再びトラベルプランを生成できるようになる。一方、下の4つの例の場合は、NMで直進し、図で左の方に行くために、有用なリンク情報が得られず、しばらくの間はデフォルトルールで移動することになってしまう。

現実のHKの被験者であれば、この左の方のゾーンにおいてもPARCO3に係する記憶を引き出しえたらう。しかし、シミュレーションの中では、左の領域にはなんらメモリンクは設定されていないので、多様な経路が生成してしまう。



図 4-14. 他の経路の生成 シミュレーション例1-2.



図 4-15. 他の経路の生成 シミュレーション例1-3.

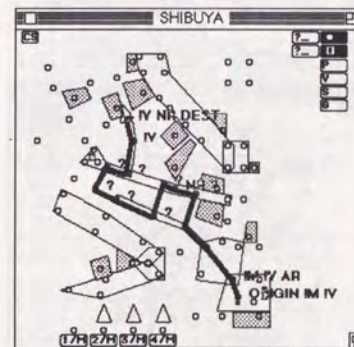


図 4-16. 他の経路の生成 シミュレーション例1-4.

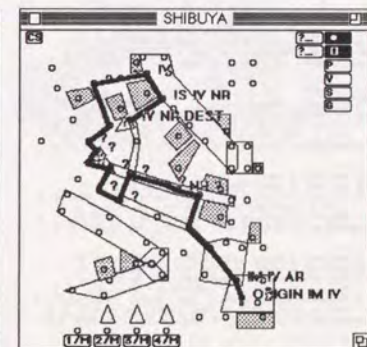


図 4-17. 他の経路の生成 シミュレーション例1-5.

同じメモリリンクの設定から、さらに次のような例も生成される。

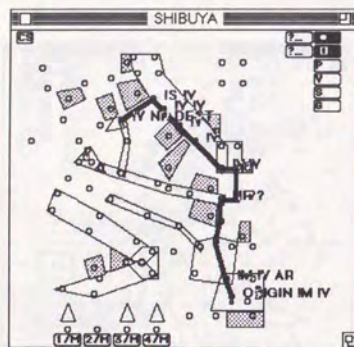


図4-23.他の経路の生成 シミュレーション例2-3.



図4-24.他の経路の生成 シミュレーション例2-4.

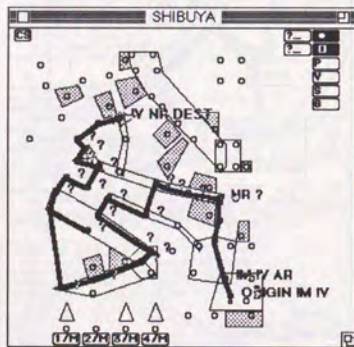


図4-25.他の経路の生成 シミュレーション例2-5.

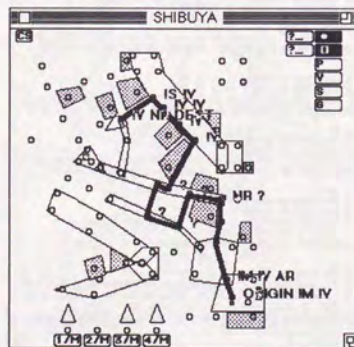


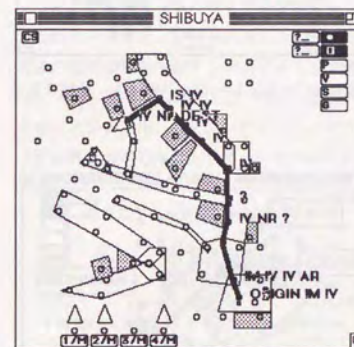
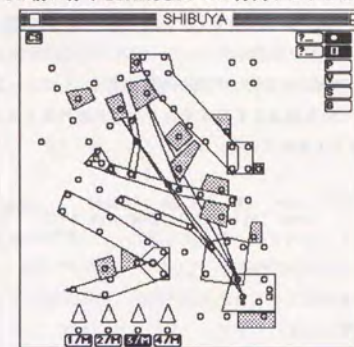
図4-26.他の経路の生成 シミュレーション例2-6.

4.2.6. 実験の再現シミュレーション 3.

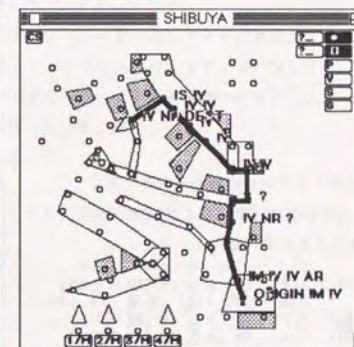
次にTMの例の再現を試みる。これはCMとほとんどにているが、「PARCO3に行くには、SEIBU_Aに行けばよい」（前の例ではMARUIであった）というMLINKの設定に基づいている。下には他の経路の生成例を示す（この場合LOFTの前に行くPARCO1がどの方向がわかることにした）。

L931 アンカー : SU ターゲット : SEIBU_A
 L932 アンカー : SU ターゲット : PARCO1
 L933 アンカー : SU ターゲット : PARCO3
 代理 : L931 : L932
 L934 アンカー : TW ターゲット : SHIBUYA_CRS
 L935 アンカー : TW ターゲット : PARCO3
 代理 : L934
 L936 アンカー : NM ターゲット : PARCO1
 方向 [SETH 15] 距離 [FD 60]

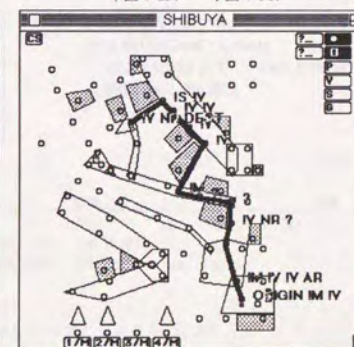
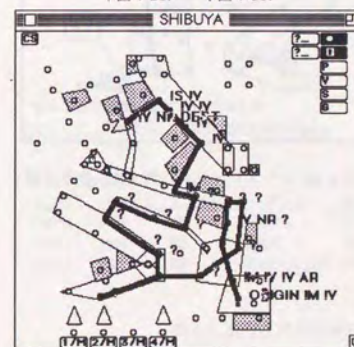
図4-27.メモリリンクの設定3.
 図4-28.シミュレーション例3-1.
 図4-29.シミュレーション例3-2.
 図4-30.シミュレーション例3-3.
 図4-31.シミュレーション例3-4.



↑ 図4-28. ↓ 図4-30.



↑ 図4-29. ↓ 図4-31.



4.2.7. 実験の再現シミュレーション 4. 地図をみる、交番で書く

次の2つの例は、サインリンクとガイドリンクの利用の例である。それぞれ、実験における、「地図を見る」行為と「交番で書く」行為のシミュレーションとなっている。どちらも出発点のTWではトラベルプランが形成できずに、デフォルトプランによってそれぞれ、「地図があったら地図を見る」、「交番があったら交番で書く」という行動をしている。

1) サインリンクの利用—地図を見る

UWを起点とするサインリンクが次のようにセットされている。

L704 アンカー : UW ターゲット : PARCO3
方向 [SETH 323] 距離 [FD 218]



図 4-32. シミュレーション例 4-1. 地図を見る

2) ガイドリンクの利用—交番で書く

VWを起点とするガイドリンクが次のようにセットされている。

L801 アンカー : VW ターゲット : MARUI_CRS
方向 [SETH 352] 距離 [FD 138]
L803 アンカー : VW ターゲット : PARCO1
L805 アンカー : VW ターゲット : PARCO3
代理 : L801 : L803

PARCO3に行くためには、PARCO1か、MARUI_CRSに行けばよい。
MARUI_CRSは、方向 [SETH 352]、距離 [FD 138]にある。

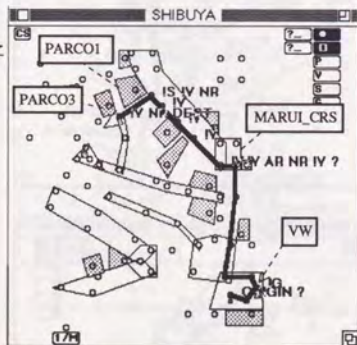


図 4-33. シミュレーション例 4-2. 交番で書く

4.3. 計算論的モデルによる経路探索の解釈

この節では、4.2節でのシミュレーションをふまえて、実験の分析によって提案された経路探索に関する経験的モデルに対して、計算論的モデルの視点から解釈と説明を与える。その中で、このモデルによって経路探索のどのような側面が説明可能で、どのような側面は説明が困難かを明らかにしてゆくことになる。それによってモデルの有効性と限界とが明らかになると同時に、経路探索行動の特性も明らかになるものと思われる。

4.3.1. 都市空間の情報の獲得=リンク情報の獲得

実験で得られたプロトコルの中では、都市空間の情報についての表現が多く見られる。2章では、プロトコル分析のための手法として、都市空間の情報を、メディア（情報獲得の媒介）、指示対象（指示されるもの）、位置（話し手との空間的關係）の組み合わせによって表現するコードを提案した。さらに、そのメディアによって、ビジュアル（V）、サイン（S）、ガイド（G）、メモリ（M）の4つに分類することにした。

これらの情報を、計算論的モデルの中では、WFタートルが位置している選択地点と他の場所との空間的關係を表すリンクによって表現する。さらにリンクは、メディア、アンカー、ターゲット、方向、距離、ID、代理、注釈の情報をもち、メディアの違いによって、フィジカル、ビジュアル、サイン、ガイド、メモリの5つに分類した。

この両者の対応関係を示すと、次のようになる。

プロトコル分析におけるコード

メディア
ビジュアル V
サイン S
ガイド G
メモリ M

指示対象
位置

計算論的モデルにおけるリンク

メディア
ビジュアル V
サイン S
ガイド G
メモリ M
フィジカル P
ターゲット
方向、距離
アンカー
ID
代理
注釈

都市空間の情報を表すコードの表記法

メディア 指示対象 [位置に関する情報]
V パルコ [左に]

リンクの表示法

リンク:	メディア	アンカー	ターゲット	方向	距離	ID	代理	注釈
L903:	MEM	SU	PARCO3	[]	[]	[]	[L901 L902]	
L901:	MEM	SU	HANDS	[SETH 330]	[FD 120]	[]	[]	
L418:	VIS	SU	SHIBUYA_CRS	[SETH 333]	[FD 22]	[IN]	[]	

表 4-5. 都市空間の情報を表すコードとリンクとの比較

計算論的モデルにおけるリンクでは、プロトコル分析のコードより多くの項目が設定されている。これらは、実験の中では発言されなかったことや、そもそも発言されにくいことについてもモデル化を図っているからである。

4.3.2. Aプラン＝トラベルプランの形成

プロトコルの中では、プランニングに関する発言がなされることがあり、特に獲得した情報に直接的にもとづくプランをAプランと定義した。

計算論的モデルでは経路探索プロセスを、合理的な情報処理とみなす。そこで行なわれるプランニングをトラベルプランの形成としている。したがって、Aプランも、合理的なプランニングのプロセスにもとづいて形成されたトラベルプランであると見なされる。そのような視点からプロトコルを捉えなおしてみると、プランニングのプロセスは部分的にしか発言されていない場合が多いことがわかる。

それに対して、シミュレーションでは、各選択地点におけるトラベルプランの形成プロセスは詳細に表示される。たとえば前節で示したHKの被験者のプロトコルとシミュレーションの例を比較してみる。

```

プロトコル
探索 S-HK:1. Vハチ公前交差点
Ap ハチ公前交差点に行く

シミュレーション
1) ORIGIN
2) 出点
3) ## GOAL:GOAL TW PARCO3 [] [] [] []
4) IM GOAL=M=>L905:MEM TW PARCO3 [] [] [] [L904]
5) L905=>L904:MEM TW SHIBUYA_CRS [] [] [] []
6) IV L904=M=>L466:VIS TW SHIBUYA_CRS [SETH 337.932] [FD 39.9249] [] []
7) L466..P..>L295:PHYS TW SU [SETH 343.61] [FD 17.72] [] []
8) TRAVELPLINK IS L295:PHYS TW SU [SETH 343.61] [FD 17.72] [] []

1) 出発点。
2) 現在地点はTW。
3) 目的地はPARCO3。
4) PARCO3に行くには記憶によると代理がある
5) SHIBUYA_CRSに代理として行けばよい
6) SHIBUYA_CRSは見えている
7) その方向に行くにはこの方向に移動すればよい
8) 移動の方向は、こっち。

```

このように、トラベルプランの形成とは、目標とするゴールリンクから始まって、利用できるリンク情報の中から次々とリンクを選択して、実際に移動する方向を示すフィジカルリンクにいたるまでの、リンクの系列を形成することである。

4.3.3. サブ目的地とその形成＝ゴールリンクと代理情報の獲得

目的地やサブ目的地は、計算論的モデルの中ではWFタートルが持っているゴールリンクと

して表現される。サブ目的地は、トラベルプランの形成のプロセスの中で、検討しているリンクに代理のリンクがあるときに、それを引き出すことによって形成される。たとえば、HKの被験者のプロトコルとシミュレーションの例に次のようなものがある。

```

プロトコル
探索 S-HK:2. M東急ハンス[センター街の裏の方]
バルコ何か[東急ハンスの近く]
Vセンター街[あの]
Ap センター街に行く

シミュレーション
at SU
## GOAL:GOAL SU PARCO3 [] [] [] []
## SUB1:GOAL SU SHIBUYA_CRS [SETH 333.431] [FD 22.3607] [] []
IM GOAL=M=>L903:MEM SU PARCO3 [] [] [] [L901 L902]
L903=>L901:MEM SU HANDS [SETH 330] [FD 120] [] []
L903=>L902:MEM SU PARCO1 [] [] [] []
L901..P..>L288:PHYS SU QR [SETH 320.194] [FD 39.0512] [] []
IV SUB1=M=>L418:VIS SU SHIBUYA_CRS [SETH 333.435] [FD 22.3607] [IN] []
SUB1..P..>L287:PHYS SU RR [SETH 344.055] [FD 36.4005] [] []
RR L418..>ARR
TRAVELPLINK IS L288:PHYS SU QR [SETH 320.194] [FD 39.0512] [] []

```

この例では、記憶にあるL903（PARCO3に行く）というリンクに、代理のリンクとしてL901とL902がある。L901は記憶によるもので、HANDSに行く、しかもその方向はSETH 330、距離はFD 120だというものであり、一方のL902はやはり記憶によるもので、PARCO1に行けばよい、と言う内容である。これらによって新しいサブゴールとして、HANDSに行く（しかも方向と距離も指定されている）というものと、PARCO1に行くというものが形成される。

代理のリンクのターゲットがもとのリンクと異なることによってリンクの系列の中に、異なったターゲットが導入され、新しいサブ目的地が形成されるのである。この代理のリンクの情報は、モデルの中ではサイン、ガイド、メモリの3種類のリンクからのみ得ることができ、ビジュアルリンクからは得られないものとしている。一般に、目的地が見えれば、サブ目的地の形成は必要性がほとんどないだろう。しかし目的地が見えていないときには、視覚以外のメディアによって代理リンクの情報を獲得し、新しいサブ目的地を得ることは有効なことである。

4.3.4. わかること＝リンク情報の獲得

「わかる場所」に関しては、プロトコル分析において「わかった」などの発言のあった「強いわかる（！）」と、そのような発言のない「弱いわかる」とを区別した。しかしこの計算論的モデルにおいては、その区別は実現されていない。この計算論的モデルでは、経路探索プロセスの展開の中で、フィジカル以外のビジュアル、サイン、ガイド、メモリの情報が獲得されたときには、いつも「！」を表示し、「わかった」状態としている。そのため、プロトコルの分析で「強いわかる」のみを表示したものよりも多くの場所が、わかる場所として表示されている。

プロトコルにおける「！」の出現には、なかなか法則性が見出しにくい。しかしシミュレーションと比較すると実験における「強いわかる（！）」の出現に次のようないくつかの傾向

があることがわかる。

- ・ビジュアル情報の獲得は他の情報よりも「強いわかる (!)」となりやすい。
- ・メモリ情報は「強いわかる (!)」となりにくい。ただしビジュアル情報とセットになった場合には「強いわかる (!)」となることもある。
- ・「？」特に「重い迷い」があった後の、初めての情報の獲得の時には「強いわかる (!)」となりやすい。

次に、HKの被験者のプロトコルとシミュレーションにおける「！」と「？」との出現の様子を比較する。



図 4-34. わかることと迷い 実験とシミュレーションの比較

4.3.5. 迷い=移動のフィジカルリンクが決定できない

「迷い (?)」の中でも、Bプランを伴う「重い迷い」については、シミュレーションでよく再現されている。上の図 4-34.の例では、シミュレーションで「？」が表示された場所と、実験で「重い迷い (?)」が発言された場所がどちらもロフト周辺で、ほぼ一致している。シミュレーションで「？」が表示された選択地点 (NM) における経路探索プロセスは次のように表示される。

```

at NM
## GOAL:GOAL NM PARCO3 [ ] [ ] [ ]
## SUB1:GOAL NM HANDS [SETH 347.489] [FD 18.4391] [ ] [ ]
## SUB2:GOAL NM PARCO1 [ ] [ ] [ ]
SUB1..P..>L114:PHYS NM NK [SETH 0] [FD 20] [ ] [ ]
NR SUB1..>NEAR
? default..P..>L013:PHYS NM PH [SETH 29.0546] [FD 51.4782] [ ] [ ]
TRAVELPLINK IS L013:PHYS NM PH [SETH 29.0546] [FD 51.4782] [ ] [ ]
  
```

※PARCO3に行く、HANDSに行く、PARCO1に行くという3つのゴールリンクがある。2番目のゴールリンクによれば、HANDSはSETH 347.5の方向、FD 18.4の距離である。これはもうHANDSに十分に接近している。しかし、移動するフィジカルリンクが決められない。そこで、デフォルトルールにしたがって移動する方向を選ぶ。

このようにシミュレーションにおける「？」は、移動するフィジカルリンクの決定に結び付くトラベルプランが形成できなかった時に表示される。このような場合、デフォルトルールが起動されることで、いずれかのフィジカルリンクが選択されて移動を続けることになる。

4.3.6. Bプランととりあえず行動=デフォルトルール

プロトコル分析では、「重い迷い」のあとには「Bプラン」の発言があり「とりあえず行動」がなされることを指摘した。シミュレーションにおいては、トラベルプランの形成が十分でなく、移動するフィジカルリンクが形成できなかった時（？が表示される）に「デフォルトルール」が用いられる。この「デフォルトルール」が指定する行動のプランが「Bプラン」に対応する。さらに「デフォルトルール」にしたがってWFタートルが画面上で行なう移動が、実験における「とりあえず行動」に相当する。

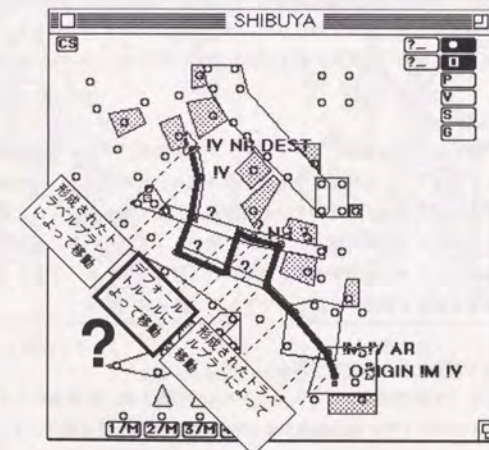


図 4-35. デフォルトルールによる移動

プロトコル分析においては、「Bプラン」として、「もどる」「真直ぐ行く」「このまま行く」「もどる以外の道に行く」「反対側へ行く」「地図を見る」「交番で聞く」「店で聞く」「(改札の中の場合) 改札を出る」「(地下の場合) 上に行く」「面白い方へ行く」といったものが指摘された。計算論的モデルにおいてはどのようなものが考えられるか考察してみたい。

1) 一般的探索法

デフォルトルールには、まず、被験者によって発言されることのないような常識的な行動について定義したものがある。たとえば、「できるだけ行ったことのないところへ行く（すでに通ったところは避ける）」といったもので、それを実現するために一般的な迷路探索の方法としてトレモーの方法などがあることを、3.3.2.7.で示した。このシミュレーションでもそれを採用しているので再度示すことにする。

- 1) 初めに訪れた選択地点では、どのフィジカルリンクに進んでもよい（選択方法としては、ランダムに／真直ぐな方を、など）
- 2) 行き止まりか、選択しうるフィジカルリンクがどれもすでに訪れた選択地点に行くものであるならば、もどることにする。
- 3) すでに一度通ったところをもどっている時に、一度も通っていない選択地点に行くことのできるフィジカルリンクがあればそちらへ、なければさらにもどる。
- 4) 目的地に到達したならば終了。

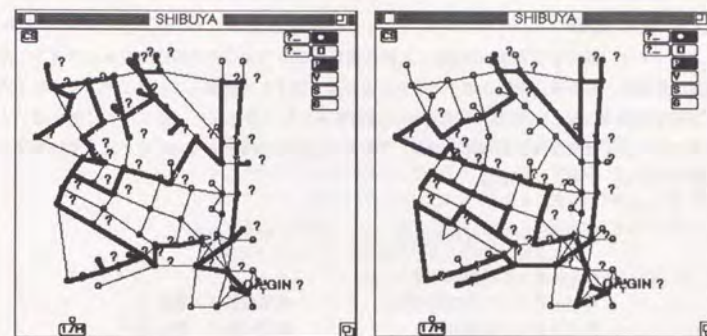
この場合1)で、新しいフィジカルリンクを選ぶときに、()内に示したように、「ランダムに選ぶ」、「できるだけ真直ぐ行く」などのルールを組み込みことができる。また、この探索法は、既にたどった選択地点をできるだけ避けるもので、迷路探索の最も経済的な方法ではあるが、現実の行動により近いのは、時には既に通った地点も通過してしまうような、もっと緩いルールであろう。しかしどの程度の緩さがあさわしいかについては明らかでない。

2) 注釈情報の利用

このような一般的探索法他に、デフォルトルールには、リンクの注釈情報を利用して、より妥当なフィジカルリンクを決定するものが含まれる。たとえば、「目的地以外の建物の中に入らない」「広い道を選ぶ」「すいている方を選ぶ」などである。これを実現するためにフィジカルリンクの注釈に「入る／出る」「広い／狭い」「すいている／込んでいる」などの情報をあらかじめ設定しておく必要がある。さらに、「渡る」「上る／下る」「危ない」「面白そう」などの情報も設定し利用することができる。(図4-36. 参照)

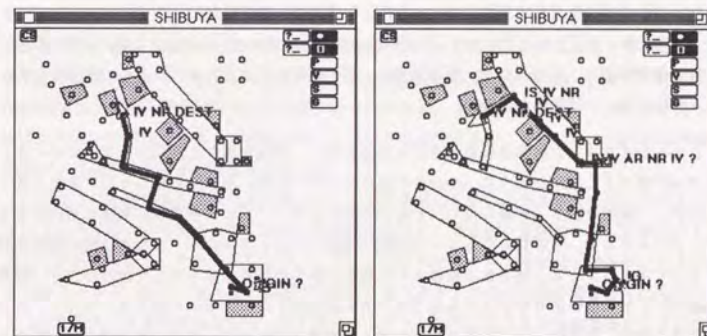
3) デモンとしての地図を見る、交番で聞く

「地図を見る」「交番で聞く」という「とりあえず行動」は、計算論的モデルにおいてはデフォルトルールの中に「デモン(demon)」として組み込んでおくことができる。「デモン」は、プログラムにおいて、起動条件が満足されたときに走り出す手続きである。つまり、「地図が見えたら」あるいは「交番が見えたら」、そこに向かいそれらの前でサイン情報やガイド情報を獲得するのである。(図4-37. 参照)



※右の例は左のデフォルトルールに「建物に入らない」「細い道に入らない」というルールを付け加えたもの

図4-36. デフォルトルールによる移動 注釈情報の利用



「地図を見る」

「交番で聞く」

※どちらも出発点でデフォルトルールが用いられている。

図4-37. デフォルトルールによる移動 デモン

実験の中では、「重い迷い」から「Bプラン」「とりあえず行動」という一連の事態が発生することは、まれである。発生するときにも限られた間であって、すぐに何らかの情報が得られることが多い。しかし、シミュレーションから推測することができるのは、この時点での「とりあえず行動」が、その後の経路を決定づけるということである。

このモデルにおけるシミュレーションでは、デフォルトルールの設定についてはややアドホックなものとなっている。この研究では達成されていないが、実際の「とりあえず行動」についてさらにデータを収集し考察をする必要があるだろう。

4.3.7. 誤りの種類

人間がする「誤り」を海保(1986)は、人間の情報処理系の4つの下部システム、つまり、知覚系、記憶系、判断系、運動系のそれぞれにおける「誤り」に分類している。そしてそれぞれに対応する例として、「見誤り（見落とし、聞き落とし、聞き違い、など）」「思い違い」「判断ミス」「仕損ない」を挙げている。これらが計算論的モデルの中でどのように実現されるかを示すと、下のようになる。

計算論的モデルにおける表現	誤りの種類
獲得されるリンク情報の誤り	
ビジュアルリンク情報の誤り	……… 視覚の誤り・見誤り
サインリンク情報の誤り	……… 地図の誤り・読み違い
ガイドリンク情報の誤り	……… 案内の誤り・聞き違い
メモリリンク情報の誤り	……… 記憶の誤り
トラベラルルール適応の誤り	……… 判断ミス
<実現されていない>	……… 仕損ない

一方、プロトコル分析では、経路探索における「誤り」を次の二つに分類した。

- 1) 一義的な誤り：「基本経路」から、大幅にはずれてしまう場合。
(基本経路：出発点と目的地を結ぶ最短経路あるいは、それと距離に大きな違いのない経路)
- 2) 二義的な誤り：記憶違いや、読み間違え、言い損ない、つじつまの合わない発言などの、経路の違いには表れない場合。

シミュレーションで画面上に表示される経路には、一義的な誤りと解釈できるものがある。モデルの中で上に挙げたように、リンクの誤りやトラベラルルール適用の誤りとして設定されたものが、一義的な誤り（経路の違い）となって表れるかどうかは、その時に実際に選択できるフィジカルリンク、他に得られるリンク情報、適用されるトラベラルルールなど状況の制約条件によって決まってくる。得られる情報やその処理に多少の誤りがあっても一義的な誤り（経路の違い）に至らないようなシステムは「ロバスト(robust)」なシステムと言える。ただし、このシステムでは、扱うデータの少なさやプロセスの単純さのために、このような視点はあまり考慮されていない。

4.4. マイクロワールド作成の方法

フビライ汗はすでに気がついていて、マルコ・ポーロの都市はいずれも似通っており、その間の移行にはあえて旅の労苦すら必要でなく、要素の入れ替えでこと足りるというふうでもあった。今では、マルコが都市を語るごとに、偉大なる汗の心はかえって気ままに旅立ってゆき、その都市をばらばらに分解しては、まったく違ったふうに組み立てなおすのだった。一材料を取り替え、置き換え、並べ替えしながら。

……イタロ・カルヴィーノ『マルコ・ポーロの見えない都市』訳 P.56

4.4.1. 妥当なマイクロワールド

これまでに示したような手順にしたがって、USネットワークとWFタートルを設定すれば、経路探索のさまざまなマイクロワールドを作成することが可能である。その際に問題となるのは、多様に可能な設定の中でどのようなマイクロワールドを作成するかということである。

マイクロワールドを作成する目的は、経路探索の状況をうまく表現するためである。ここで想定する経路探索の状況は、「現実的な状況」と「可能的な状況」の両方が考えられる。「現実的な状況」とは、実際に実験の結果として現われたり、あるいは事例はなくても十分に起こることが予想されるような状況である。第1章で導入した探索、探索、通い、避難、散策の5つの状況は、この「現実的な状況」に対する分類である。「可能的な状況」とは ありえないかもしれないが整合性をもって構想することができる状況である。そこには、小説の中の都市空間のように空想的な状況も含まれてくる。

このように経路探索の状況は広く捉えることができる。しかし、さまざまに設定されるマイクロワールドのどれもがそれらに相当するわけではなく、現実的、可能的などな状況にも対応しないものもある。たとえばUSネットワークの中でWFタートルが全く動かないようなマイクロワールド、あるいは大量の情報を設定したUSネットワークに迷路探索のルールのみをもったWFタートルを組み合わせたマイクロワールド、このようなものは無意味なマイクロワールドであろう。そこで、経路探索の「現実的な状況」と「可能的な状況」とに相当するマイクロワールドを、「妥当なマイクロワールド」と呼ぶことにする。

現実的な状況	………	妥当なマイクロワールド
可能的な状況		

この節では、「妥当なマイクロワールド」を作成する方法について述べる。さらに「現実的な状況」の枠組みとして利用してきた、探索、探索、通い、避難、散策の5つの状況について解釈を与えることにする。

4.4.2. USネットワークとWFタートルとのフィット

マイクロワールドの妥当性を評価するために、USネットワークとWFタートルとの「フィット(fit)」という概念を導入する。「妥当なマイクロワールド」である条件として、USネットワークとWFタートルとが「フィット」している必要があるとするのである。

USネットワークの設定で重要なことは、どのようなリンク情報を与えるかということである。一方、WFタートルの設定においては、どのようなトラベルルールを与えるかということが重要である。このリンク情報とトラベルルールが対応している状態を「フィット」していると呼ぶことにする。表4-6.に示すように、このモデルでは、メディア、方向・距離、ID、代理、注釈といった内容によって分類されるリンクのさまざまな種類のそれぞれに、それを利用するためのトラベルルールが対応している。したがって、対応するリンクがないトラベルルールをWFタートルに与えても、そのトラベルルールは発動されることがない。逆にWFタートルに利用するトラベルルールがないにもかかわらず、USネットワークにリンク情報を与えても、そのリンクは利用されることがない。

USネットワーク (リンク)		WFタートル (トラベルルール)
フィジカルリンク	方向・距離 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> フィジカル(FINDPHYS)
	注釈 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> デフォルトルール
ビジュアルリンク	方向・距離 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> ビジュアル(FINDVIS)
	ID <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> 到着(ARRIVEDP, NEARP)
	注釈 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> デフォルトルール
サインリンク	方向・距離 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> サイン(FINDSIG)
	ID <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> 到着(ARRIVEDP, NEARP)
	代理 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> 代理(GETSUB)
	注釈 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> デフォルトルール
ガイドリンク	方向・距離 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> ガイド(FINDGUID)
	ID <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> 到着(ARRIVEDP, NEARP)
	代理 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> 代理(GETSUB)
	注釈 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> デフォルトルール
メモリリンク	方向・距離 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> メモリ(FINDMEM)
	ID <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> 到着(ARRIVEDP, NEARP)
	代理 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> 代理(GETSUB)
	注釈 <input type="checkbox"/>	<—> <input type="checkbox"/> デフォルトルール

表4-6. USネットワークとWFタートルの組み合わせ

4.4.3. リンク情報のタイプとマイクロワールドのタイプ

USネットワークとWFタートルがフィットしているマイクロワールドは、USネットワークに対してどのようなリンク情報がセットされているかを見れば、その性格を予測することができる。たとえば、ビジュアルリンクが多くセットされたマイクロワールドであれば、フィットしているWFタートルは、当然ビジュアルリンクを利用するトラベルルールを頻繁に使うことであろう。そこで、リンク情報のタイプによって、マイクロワールドの分類を試みることにする。リンク情報には、可能な組み合わせとして、表4-7.に示すようなレパートリーが考えられる。

P—方向	P—距離		P—注釈
V—方向	V—距離	V—ID	V—注釈
S—方向	S—距離	S—ID	S—代理
G—方向	G—距離	G—ID	G—代理
M—方向	M—距離	M—ID	M—代理
			M—注釈

表4-7. リンク情報にもとづくマイクロワールドのタイプ

このレパートリーからの選択によって、USネットワークにセットされるリンク情報が決まり、それによってマイクロワールドのタイプが規定される。このレパートリーの中で特徴的な点をいくつか指摘しておく。

- 1) サインS、ガイドG、メモリMの3種類の情報は、同型のもので、交換可能である。したがってメモリリンクとして与える情報を、サインリンクで与えることもできる。
- 2) 注釈情報が十分にセットされている場合は、デフォルトルールによって有効に移動ができる。
- 3) 代理情報と方向・距離情報を組み合わせることで効率的に情報を与えることができる。

4.4.4. リンク情報の付加とマイクロワールドのタイプ

この項では、フィットしたマイクロワールドにおいて、さまざまなタイプのリンク情報を付加していくことによって、次第に遠方の目的地にもスムーズに到達できるようになる、いくつかのシミュレーションを示す。新しいタイプのリンク情報が付加されるにつれて、マイクロワールドも新しいタイプに変化していく。以下の例では、主にメモリリンクを付加していくが、前項のレパートリーの特徴で指摘したように、メモリリンクの代わりに、サインリンク、ガイドリンクを付加することもできる。

1) V—方向、V—距離の付加

課題：109_に行く

P—方向	P—距離		
V—方向	V—距離	V—ID	

"109"は出発点から見える。V—方向、V—距離によって移動し、V—IDによって到着する。

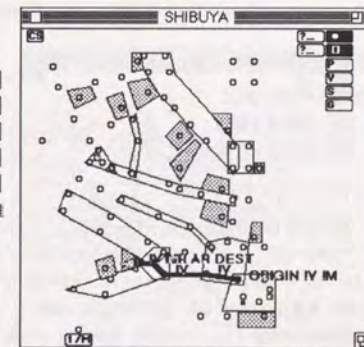


図4-38. V—方向、距離の付加 "109"に行く

2) 代理の付加

課題: SEIBU_Bに行く

P-方向	P-距離	
V-方向	V-距離	V-ID
		M-代理

"SEIBU_B"は出発点から見えない。代理情報で見えている"SEIBU_A"に行けばよいことが指示される。

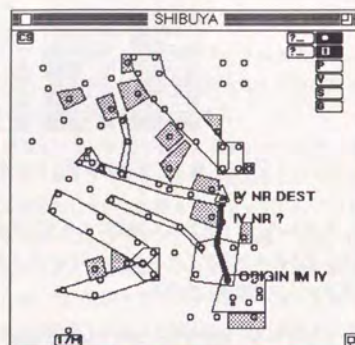


図4-39. 代理の付加 "SEIBU B"に行く

3) M-代理、M-方向、M-距離の付加

課題: MARUIに行く

P-方向	P-距離	
(V-方向)	(V-距離)	(V-ID)
M-方向	M-距離	M-代理

"MARUI"に行くには"MARUI_CRS"に行けばよい(M-代理)。
"MARUI_CRS"は、方向[SETH 355] 距離[FD 130]にある(M-方向、M-距離)。この場合V-方向、距離は、"MARUI_CRS"に着いてから、"MARUI"に着くまでの短い間しか使われない。

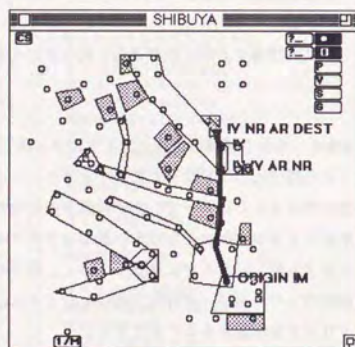


図4-40. M-代理、方向、距離の付加 "MARUI"に行く

4) 代理情報と方向・距離情報の組み合わせ1

課題: SEEDに行く

P-方向	P-距離	
V-方向	V-距離	V-ID
M-方向	M-距離	M-代理

"SEED"に行くには、まず"MARUI_CRS"に行けばよい(M-代理)。
"MARUI_CRS"は、方向[SETH 355] 距離[FD 130]にある(M-方向、M-距離)。
"MARUI_CRS"からは、V-方向、距離によって移動する。

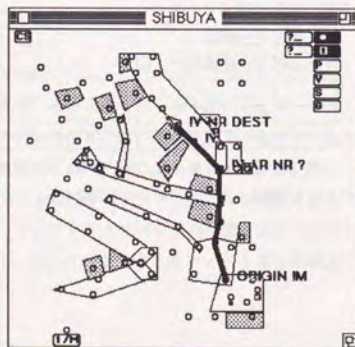


図4-41. 代理情報と方向・距離情報の組み合わせ1 "SEED"に行く

5) 代理情報と方向・距離情報の組み合わせ2

課題: PARCO3に行く

P-方向	P-距離	
V-方向	V-距離	V-ID
M-方向	M-距離	M-代理

"PARCO3"に行くにはまず"MARUI_CRS"に行けばよい(M-代理)。
"MARUI_CRS"は、方向[SETH 355] 距離[FD 130]にある(M-方向、M-距離)。
"MARUI_CRS"からは、"PARCO1"に行けばよい(M-代理)。
V-方向、距離によって移動し、途中で"PARCO3"を発見する(V-方向、距離)。

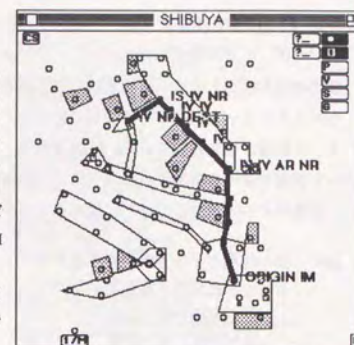


図4-42. 代理情報と方向・距離情報の組み合わせ2 "PARCO3"に行く

6) 代理情報と方向・距離情報の組み合わせ3

課題: HANDSに行く

P-方向	P-距離	
V-方向	V-距離	V-ID
M-方向	M-距離	M-代理

"HANDS"に行くにはまず"MARUI_CRS"に行き(M-代理、M-方向、M-距離)、次に"PARCO2"に行く(M-代理、V-方向、距離)。
"PARCO2"の前で、"HANDS"へのM-方向、距離が得られる。

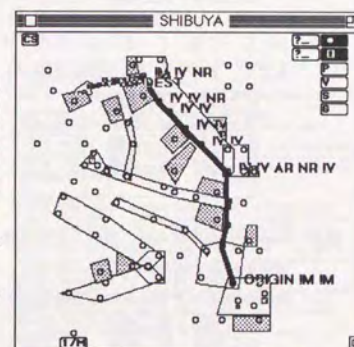


図4-43. 代理情報と方向・距離情報の組み合わせ3 "HANDS"に行く

7) P-注釈の付加

課題: PARCO3に行く

P-方向	P-距離	P-注釈
V-方向	V-距離	V-ID
M-方向	M-距離	M-代理

"PARCO3"に行くにはまず"HANDS"に行けばよい(M-代理)。
"HANDS"へのM-方向、M-距離は誤って与えられる。途中から、P-注釈を利用して、デフォルトルールで移動、近くに行ってV-方向、距離を獲得。

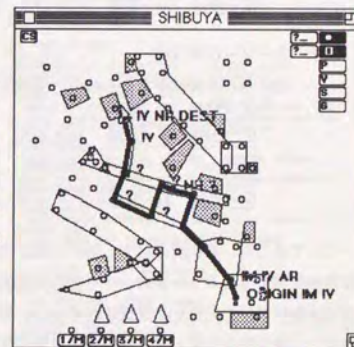
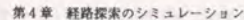
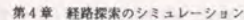


図4-44. P-注釈の付加 "PARCO3"に行く

第4章 経路探索のシミュレーション



第4章 経路探索のシミュレーション



第4章 経路探索のシミュレーション

第4章 経路探索のシミュレーション

[illegible][illegible][illegible][illegible]

第4章 経路探索のシミュレーション

第4章 経路探索のシミュレーション

70-

171

[illegible]

結 論

1. 各章の要約

第1章「都市空間の中の経路探索」では、都市空間における経路探索を研究する背景と目的を述べ、さらに本論文が採る方法の特色を論じている。

第1節は研究の背景を論じた。移動する人間と複雑な都市空間の増加のために現代都市では、人間と都市空間との関係がきわめて多様になっている。そのため、デザインに何が可能かという問題は大変難しく、いわゆる「意地悪な問題」となっている。これに対して人間と環境とを人間—環境系として捉えるトラウンザクショナル（相互浸透的）のアプローチに注目し、特に状況的なデザインへのという方向性が指摘されている。

第2節では、「都市がわかる」ということを明らかにすることが研究の目的として示されている。さらに特に、都市空間の中での「目的地への移動」つまり「経路探索」に焦点をあてることが述べられている。移動に焦点をあてる理由は、都市の中で自由に移動できることが、都市がわかることの重要な一つの側面と考えられるからである。

第3節は、研究の方法と概念の定義が示されている。まず、時間的には開始、移動中、終了からなり、空間的には出発点、経路上、到達点からなる「移動」の一般的な定義が与えられる。さらに「経路探索」は「移動」の中でも「目的地のある移動」と定義される。

経路探索を状況によって捉える考えが提起されている。経路探索の状況は、装置、役割、主題により設定される。主題は、習熟度と緊張度を尺度として分類される。この主題の違いによって経路探索を、1) 探査：習熟度…低い、2) 通い：習熟度…高い、3) 探索：探査と通いの中間、4) 散策：緊急度…低い、5) 避難：緊張度…高い、の5つの典型的な状況に分類した。

さらにこの論文が採用している、マイクロワールドの作成という方法が示されている。それは、経路探索実験によって得られる知見にもとづいて、経路探索の状況に相当する、モデルとなる小さな世界（マイクロワールド）を作成し、それをコンピュータ上にLOGO言語のタートル・グラフィックスを使って実現するというものである。

第4節では、既往の経路探索研究の概観がされる。まず、経路探索の定義にかなりの多様性があることが示される。さらに、実験にもとづく経験的研究、情報処理的アプローチ、コンピュータへの実現を目的とした計算論的モデルという方法について論ずる。さらに、空間的知識のネットワークによる表現と、環境情報の戦略という見方について特に取り上げている。

第2章「経路探索実験」では、実際の都市空間で行なった経路探索の実験が考察された。

第1節では実験の方法として、認知科学で一般的なプロトコル分析について論じた後、この論文ではプロトコル分析を採用しながらも、生態学的な妥当性を顧慮し、実験室ではなく実際の都市空間で意味のある課題のもとに実験を行なうことを論じている。実験は東京渋谷の地上レベルと銀座の地下1階レベルで行ない、課題は、渋谷の場合では「渋谷駅からバルコパート3に行く」、銀座の場合では「銀座線銀座駅のホームからソニービルまで行く」としている。被験者には行動の最中に「声を出して考える(think aloud)」ように指示がされ、発言は携帯用テープレコーダで録音される。

第2節では、実験の結果を視覚的に表示する表記法が提案されている。表記法はまず、得られる言語プロトコルをコード化する8種類のコードからなる。

- | | |
|--|--------|
| 1) 獲得した都市空間についての情報の表現 [メディア、指示対象、位置] からなる。 | |
| メディアによって4種類に分けられる。 | |
| 1-1) ビジュアル (視覚的に) | 表示記号…V |
| 1-2) サイン (サインボードや地図から) | …S |
| 1-3) ガイド (他の人の案内から) | …G |
| 1-4) メモリ (自分の記憶から) | …M |
| 2) ブランについての表現 | |
| 2-1) Aプラン (獲得した情報にもとづき理由の明解なプラン) | …Ap |
| 2-2) Bプラン (一般的な行動のプラン 地図を見る、改札を出る、もどる等) | …Bp |
| 3) 経路探索の進行状況についての感情の表現 | |
| 3-1) わかること (発見) (あった、わかった、など) | …! |
| 3-2) 迷い (あれっ、わからない、など) | …? |

移動経路とプロトコルを照らし合せると、経路探索に関する発言がなされる場所 (選択地点) と、そうでなく自動的に移動している場所とに分節することができる。この選択地点に、コード化されたプロトコルを標識のように表示する表記法が提案されている。

第3節では、提案した表記法にもとづいて実験の結果を分析し、経路探索を説明するためのいくつかの経験的な概念とそれらの関係を得ることができた。

- 1) Aプランの発言によってサブ目的地が形成される。経路探索の間には行動について、浅い階層性のあるプランニングがなされる。
- 2) わかること (発見) は、何によってわかったかを表す「獲得した都市空間についての情報」の発言が伴うことが多い。そこでその情報によって次の4つに分類される。
 - 2-1) 視覚によって、 2-2) サインによって、 2-3) ガイドによって、 2-4) 記憶によって
 視覚によってわかることがきっかけとなって記憶からも情報が引き出されることもある。習熟度が低い「探索」の状況ではサインやガイドによってわかることが重要な意味を持つが、習熟度が上がり「探索」の状況となると、記憶によってわかることが重要になる。
- 3) 迷いは、行動に表れる「重い迷い」と不安感の表明である「軽い迷い」に分けられる。

3-1) 重い迷いは、Bプランの発言を伴い、とりあえず行動がなされることが多い。また、探索の状況よりも、ある程度の記憶をもっている探索の状況で多く発言される。

3-2) 軽い迷いについては、単調な空間で発言されるようだが一般的傾向は指摘できない。

- 4) 重い迷いの解決として、Bプランの発言と共にとりあえず行動がなされる。もどる、真直ぐ行く、もどる以外の道を行く、反対側へ行く、地図を見る、交番で聞く、店で聞く、改札を出る、上に行く、面白い方へ行くなどがある。

5) 経路探索における誤りは、次の二つの分類される。

5-1) 一義的な誤りは、基本経路 (出発点と目的地 (=到達点) を結ぶ最短経路あるいはそれと同等な経路) から大きくはずれる場合。

5-2) 二義的な誤りは、思い違い、読み間違え、見間違えなどで、経路の違いに表れない。

また、「思い違い」は、場所の特徴 (名前、大きさ、色など) についてと、場所の位置についての二つに分けられる。

6) 以上のような考察を踏まえて、経路探索の探索、探索、通いの3種類の状況の特徴が指摘できる。また、実際の実験では、緊張度の低い散策と通いの中間的なケースがみられた。

7) 提案された表記法の問題点として、7-1) サインとビジュアルのあいまいさ、7-2) メモリとビジュアルの同時性による識別の難しさ、7-3) 「ない」という情報の扱い、7-4) Aプランとメモリのあいまいさ、7-5) AプランとBプランのあいまいさが指摘される。

第4節には、行なわれた渋谷の地上レベルと銀座の地下1階レベルでの実験の記録が示されている。

第3章「経路探索の計算論的モデルの作成」では、LOGO言語のタートルグラフィックスを用いて計算論的モデルを作成し、経路探索の実験から提案された経験的な諸概念 (情報の獲得、プラン、わかることと迷いなど) の表現を試みる。

このモデルでは、装置に関しては、現実の都市空間に相当して場所のネットワークからなる「USネットワーク」が、役割に関しては、人間に相当して経路探索のためのルール (トラベルルール) をもった「WFタートル」が作成される。WFタートルはコンピュータの画面上の仮想生物 (タートル) として直観的に理解しやすいかたちで実現される。

1) USネットワーク

1-1) 場所 ネットワークの基本的単位

手掛かり: WFタートルが参照する、手掛かり (ランドマーク) となる場所。[位置、種類、名前、形状] の情報からなる。

選択地点: WFタートルが移動し経路の選択をする場所。[位置] の情報からなる。

1-2) リンク 場所と場所との空間的關係。[メディア、アンカー、ターゲット、方向、距離、ID、代理、注釈] の情報からなる。

・アンカー: リンクの得られる選択地点 ・ターゲット: 指示対象となる手掛かり

・方向 (距離): アンカーからターゲットへの方向 (距離)

- ・ID: アンカーがターゲットと同じ場所といえるかどうかをあらわす。
 - ・代理: そのリンクの代わりになるリンク。代わりにどこに行けばよいかを指示する。
 - ・注釈: 賑やか、危ない、広い、面白そうなどの情報が記される。
 - ・メディア: リンク情報が獲得されるメディア (媒介)。次の5つに分けられる。
 - フィジカル …PLINK 移動できる選択地点を示す
 - ビジュアル …VLINK 見ることでわかる手掛かりを示す
 - サイン …SLINK サインボードによってわかる手掛かりへの方向や行き方
 - ガイド …GLINK 他の人の案内によってわかる手掛かりへの方向や行き方
 - メモリ …MLINK 記憶によってわかる手掛かりへの方向や行き方
- ※代理情報は、サイン、ガイド、メモリの各リンクからしか得られない。

2) WFタートル

- 2-1) ゴールリンク: 経路探索の目標をリンクの形式で表現したもの。複数のゴールリンク (ゴールとサブゴール) をもつこともある。
- 2-2) トラベルルール: 評価のプロセスに関わる8つのルールと1つのデフォルトルール、実行のプロセスに関わる3つのルールからなる。

このようなUSネットワークとWFタートルは、各選択地点で次のような、トラベルプラン (移動についてのプラン) を形成する「評価」と、その「実行」からなるプロセスをとって経路探索を進行させる。

1) 評価

1-1) アクセス可能な情報の獲得

1-2) トラベルプランの形成

トラベルルール名

- プロセスの終了 ・ID情報による到着の確認 …ARRIVEDP, NEARP
- ・方向情報によるフィジカルリンクの選択 …FINDPHYS
- サブゴールの生成 ・ターゲット情報のマッチングによるサブゴールの生成
- ・ビジュアルリンクからの選択 …FINDVIS
- ・サインリンクからの選択 …FINDSIG
- ・ガイドリンクからの選択 …FINDGUID
- ・メモリリンクからの選択 …FINDMEM
- ・代理情報の利用によるサブゴールの生成 …GETSUB

1-3) デフォルトプラン

…GETDEFAULT

2) 実行 2-1) 移動 2-2) ゴールリンクの変更 2-3) 記憶の変更

第4章「経路探索のシミュレーション」では、第3章で作成された計算論的モデルを用いて、経路探索のシミュレーションが行なわれる。それによって経験的に提出された諸概念に対して計算論的モデルの視点から整合性をもった説明が与えられる。ここでは、経路探索の各状況に対応した「マイクロワールド」を作成するという方法が取られている。

第1節では、シミュレーションの具体的方法について述べる。マイクロワールドは、USネットワークを特徴づけるリンクと、WFタートルのもつトラベルルールのレパートリーからの選択によって作成される。システムはMacintosh II Cx上で、ObjectLogo言語を用いて開発されている。画面は、USネットワークとWFタートルの移動の軌跡が表示されるSPACEウィンドウ、経路探索プロセスの展開が詳しく表示されるLISTENERウィンドウ、ユーザーインターフェース用のTALK TOウィンドウから構成される。TALK TOウィンドウ上のボタンをクリックして、シミュレーションを行なう。ここでは、小さなUSネットワークの例を使って、システムの挙動を細かく追っている。

第2節では、渋谷の実験の再現シミュレーションを試みる。現地調査にもとづいてUSネットワークを設定し、さらに実験の結果から再現しようとする被験者に相当するWFタートルのメモリリンクを設定することで、実験における発言も含めてかなり一致する再現ができる。しかし、同じ設定から異なった経路が生成されることも示される。また同じ設定から、いくつかの被験者の例に相当するシミュレーションができることもあることが示される。デフォルトルールによって、生成することのありうる可能な経路が大きく異なることが指摘される。

第3節では実験で提出された諸概念に対する計算論的モデルによる解釈を与えられる。

- 1) 獲得される都市空間の情報 ⇒ リンクによって表現される。リンクには、プロトコル分析で用いられたメディアの他にフィジカルというメディアが与えられる。また、指示対象、位置以外にもアンカー、ID、代理、注釈などが与えられる。これらは、プロトコルでは語られなかったプロセスを説明するために用いられる。
- 2) Aプラン ⇒ 形成されたトラベルプランについての発言に相当する。経路探索プロセスでは、トラベルプランが形成されているが、部分的にしか発言されない。
- 3) 目的地やサブ目的地 ⇒ WFタートルがもつゴールリンクによって表現される。
- 4) サブ目的地 ⇒ リンクから代理の情報を獲得することによって形成される。
- 5) わかること (発見) ⇒ リンクの獲得とされる。シミュレーションでは、課題の解決に関係するリンクを得た時には、いつも「！」(わかることの記号)が表示される。一方、実験での「わかった」などの発言はより少ないが、その法則性は明確でない。
- 6) 重い迷い ⇒ よく再現されている。このモデルの中では、移動のフィジカルリンクが決定できるだけのトラベルプランが形成できなかった時に、「？」(迷いの記号)が表示される。この場合は次に示す、デフォルトルールが起動される。
- 7) Bプランととりあえず行動 ⇒ 実験の中では重い迷いに引き続くが、計算論的モデルでは、デフォルトルールの起動とされる。デフォルトルールとしては、
 - 7-1) 「できるだけ行ったことのない場所へ行く」というような一般的な迷路探索の方法。
 - 7-2) 注釈情報の利用 (広い道を行く、すいている方を選ぶ、面白そうな方へ行く)。
 - 7-3) デモン (起動条件が満足された時に走り出す手続き) として「地図を見る」「交番で聞く」、が実現されている。このデフォルトルールが経路の違いを決定づける重要な要因となっている。

8) 誤り => 思い違い、見誤り、読み違い等を、リンク情報やトラベルルールあるいはトラベルルールの制御における誤りとして、実現できる。

第4節では、多様に設定されるマイクロワールドの中で、妥当なマイクロワールドを作成する方法を述べる。妥当なマイクロワールドは、経路探索の現実的な状況（十分に起こりうる状況）かあるいは可能的な状況（整合性をもって構想できる状況）に対応する。そのためには、USネットワークの設定とWFタートルの設定が、ちょうど対応している（フィット）ことが必要である。このフィットしているマイクロワールドでは、USネットワークにどのようなリンク情報がセットされているかによってその性質が予測できる。

このようにリンク情報のタイプによる、マイクロワールドのタイプが提案される。それにもとづいて経路探索の現実的な状況について、通い（M—代理とV—方向の組み合わせ）、探索（S—G—代理、V—S—G—方向、P—V—S—V—注釈の組み合わせ）、探索（S—G—からM—への移行、注釈情報の部分的利用）、散策（P—V—注釈情報）という解釈が仮説として提案されている。

2. 総括

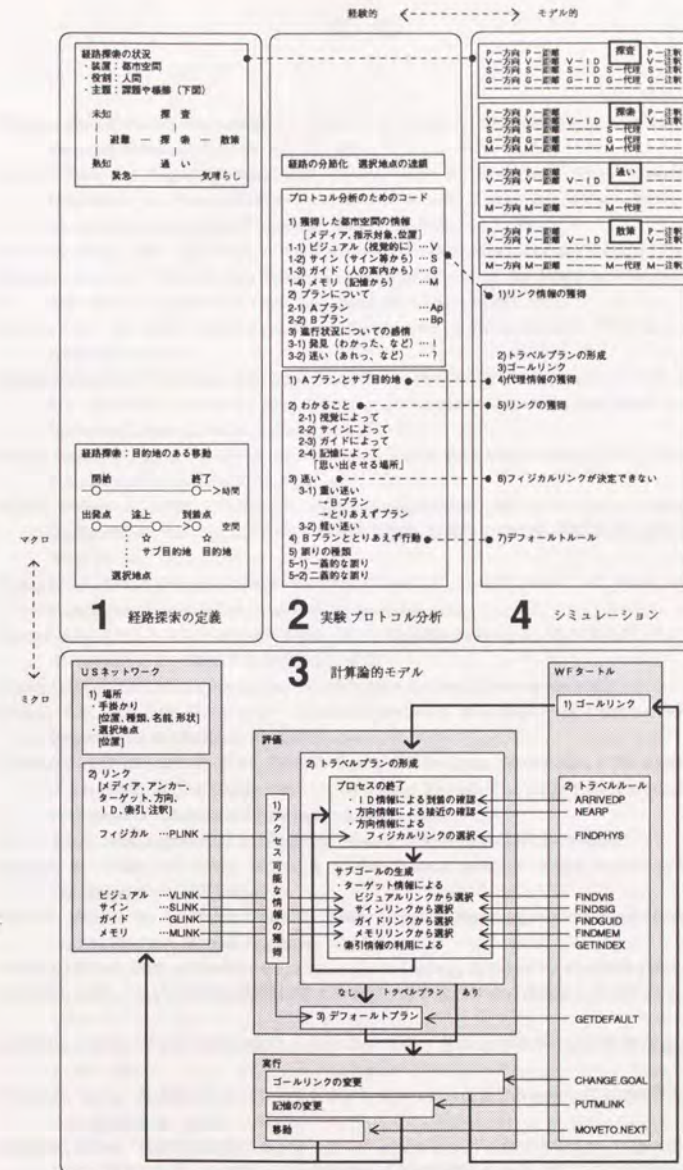
複雑な現代都市では、都市の全体をマクロに把握することは困難である。そこでは人間は、ミクロな空間の認識を重ねることでそれぞれに都市のイメージを形成している。現代都市は多様な解読を可能にするようになっているのである。したがって都市空間の設計においても、一般的な人間を想定して物理的環境を設計するだけでなく、人間と環境とのランザクション（相互浸透）の立場にたった、多様な手法が求められている。

経路探索の状況は、人間と環境とが一つの系をなしたランザクショナルな関係にあることをよく表す典型的な状況である。この論文はこのような研究対象に対して、実験（プロトコル分析）、計算論的モデルの作成、シミュレーションという一連の研究プロセスをとって臨んでいる。経路探索に関する関心は、日本においても一部の研究者によってもたれるようになっている。しかしまだ研究の方法についても模索的な段階にあるといえる。したがってこの論文では、研究手法自体を提案するという側面が強くなっている。

次のページの図に、この論文全体の内容と提出された概念群を整理しておく。

そもそも、経路探索のようにきわめて日常的で常識的な状況に、研究の関心が向かうようになったことは、我々の時代の不幸ともいえるが、私はむしろ可能性の方を見るようにしたい。

付記、本研究は、平成2年度および平成4年度文部省科学研究費、平成3年度日産学術研究助成の助成を受けている。



文 献

- Abelson, Harold, and diSessa, Andrea A., 1980, *Turtle Geometry: The Computer as a Medium for Exploring Mathematics*, Cambridge, MIT Press.
- Altman, Irwin and Rogoff, Barbara, 1987, "World Views in Psychology: Trait, Interactional, Organismic, and Transactional Perspectives", in Stokols, Daniel and Altman, Irwin, eds., *Handbook of Environmental Psychology*, New York, Wiley, pp.7 - 40.
- Anderson, John R, 1983, *The Architecture of Cognition*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Anderson, Stanford, 1978, "Studies Toward an Ecological Model of the Urban Environment", in Anderson, S., ed., *On Street*, Cambridge, Mass., MIT Press, pp.267 - 307.
- Beardon, Colin, ed., 1989, *Artificial Intelligence Terminology: A Reference Guide*, Chichester, Ellis Horwood Limited.
- Blades, Mark, 1991, "Wayfinding Theory and Research: The Need for a New Approach", in Mark, David M., and Frank, Andrew U., eds., *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp.137 - 165.
- Brooks, Rodney A., 1986, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2, no.1, pp.14 - 23.
- Brooks, Rodney A., 1988, "Intelligence without Representation", MIT Tech Report, (*Artificial Intelligence*, 47, 1991, pp.139 - 159.) (柴田正良訳, 表象なしの知能, 現代思想, 18(3), 1990年3月号)
- Byrne, R. W., 1982, "Geographical Knowledge and Orientation", in Ellis, A. W., ed., *Normality and Pathology in Cognitive Functions*, London, Academic Press.
- Calvino, Italo, 1972, *Le Citta Invisibili*, Torino, Giulio Einaudi editore s.p.a., (米川良夫訳, マルコ・ポーロの见えない都市, 河出書房新社, 1977)
- Cohen, Gillian, 1989, *Memory in the Real World*, London, Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Cornell, E.H., and Hay, D.H., 1984, "Children's Acquisition of a Route via Different Media", *Environment and Behavior*, 16, pp.627 - 641.
- Darvizeh, Z., and Spencer, C.P., 1984, "How Do Young Children Learn Novel Routes? The Importance of Landmarks in The Child's Retracing of Routes Through The Large-Scale Environment", *Environmental Education and Information*, 3, pp.97 - 105.
- Davis, Ernest, 1986, *Representing and Acquiring Geographic Knowledge*, London, Pitman.
- Ericsson, K. Anders and Simon, Herbert A., 1984, *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*, Cambridge, Mass, MIT Press.
- Eysenck, Michael W. and Keane, Mark T., 1990, *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*, London, Lawrence Erlbaum Associates.
- Friendly, Michael, 1988, *Advanced Logo: A Language for Learning*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum.
- 舟橋國男, 1987a, "WAYFINDING研究に関する考察", 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.325 - 328.
- 舟橋國男, 1987b, "WAYFINDING研究に関する一考察", 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.581 - 582.
- 舟橋國男, 1989a, "環境研究におけるトランザクショナルリズムに関する考察", 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.237 - 240.
- 舟橋國男, 1989b, "環境行動研究におけるトランザクショナルリズムに関する考察: 理論の概要ならびに建築計画学との関連", 日本建築学会大会学術講演梗概集<F>, pp.785 - 786.

- 舟橋國男, 1990a, "WAYFINDING研究の現状と課題", 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.257 - 260.
- 舟橋國男, 1990b, WAYFINDINGを中心とする建築・都市空間の環境行動論的研究, 学位論文, 大阪大学.
- 舟橋國男, 1991a, "大スケール物理的環境における移行", in 山本多喜司, and Wapner, Seymour, eds., 人生移行の発達心理学, 北大路書房, pp.122 - 134.
- 舟橋國男, 1991b, "「方向感」の保持ならびに代替経路探索に関する実験的研究", 日本建築学会計画系論文報告集, 424, pp.11 - 20.
- 舟橋國男, 1991c, "格子状街路網地区における経路の選択ならびに探索に関する実験的研究", 日本建築学会計画系論文報告集, 429, pp.61 - 72.
- 舟橋國男, 1991d, "初期環境情報の差異と経路探索行動の特徴: 不整形街路網地区における環境情報の差異と経路探索行動ならびに空間把握に関する実験的研究 その1", 日本建築学会計画系論文報告集, 424, pp.21 - 30.
- 舟橋國男, 1991e, "初期環境情報の差異と空間把握の特徴: 不整形街路地区における環境情報の経路探索行動ならびに空間把握に関する実験的研究 その2", 日本建築学会計画系論文報告集, 428, pp.85 - 92.
- 舟橋國男, 1991f, "建物内通路における経路探索行動ならびに空間把握に関する実験的研究", 日本建築学会計画系論文報告集, 429, 61 - 72.
- Gärting, Tommy, Böök, Anders, and Lindberg, Erik, 1984, "Cognitive Mapping of Large-Scale Environments: The Interrelationship of Action Plans, Acquisition, and Orientation", *Environment and Behavior*, 16, pp.3 - 34.
- Gärting, Tommy, Böök, Anders, and Lindberg, Erik, 1985, "Adults' Memory Representations of the Spatial Properties of Their Everyday Physical Environment", in Cohen, Robert, ed., *The Development of Spatial Cognition*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, pp.141 - 184.
- Gluck, Myke, 1991, "Making Sense of Human Wayfinding: Review of Cognitive and Linguistic Knowledge for Personal Navigation with a New Research Direction", in Mark, David M., and Frank, Andrew U., eds., *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp.117 - 135.
- Golledge, Reginald G., 1987, "Environmental Cognition", in Stokols, Daniel and Altman, Irwin, eds., *Handbook of Environmental Psychology*, New York, Wiley, pp.131 - 173.
- Golledge, Reginald G., Smith, Terence R., Pellegrino, James W., Doherty, Sally, and Marshall, Sandra, P., 1985, "A Conceptual Model and Empirical Analysis of Children's Acquisition of Spatial Knowledge", *Journal of Environmental Psychology*, 5, pp.125 - 152.
- Gopal, Sucharita, 1988, A Computational Process Model of Spatial Navigation, Dissertation, University of California, Santa Barbara.
- Gopal, Sucharita, Klatzky, Roberta L., and Smith, Terence R., 1989, "NAVIGATOR: A Psychologically Based Model of Environmental Learning through Navigation", *Journal of Environmental Psychology*, 9, pp.309 - 331.
- Gopal, Sucharita and Smith, Terence R., 1990, "Human Way-Finding in an Urban Environment: A Performance Analysis of a Computational Process Model", *Environment and Planning A*, 22, pp.169 - 191.
- Gross, Mark D. and Zimring, Craig, 1990, "Buildings, Memory, and Wayfinding", *Proceedings of the Twenty-First Annual Conference of the Environmental Design Research Association (EDRA21)*, Champaign-Urbana, Illinois, pp.85-93.
- Gross, Mark D., and Zimring, Craig, 1990, "Predicting Wayfinding Behavior in Buildings: A Schema-Based Approach", in Kalay, Yehuda E., and Swerdloff, Lucien M., eds., *Predicting and Evaluating Design Performance*, New York, Wiley.

- Halliday, M. A. K., 1978, *Language as Social Semiotic: The Social Interpretation of Language and Meaning*, London, Edward Arnold.
- Halliday, M. A. K., and Hassan, Ruqaiya, 1985, *Language, Context, and Text: Aspects of Language in a Social-Semiotic Perspective*, Deakin University Press, (寛壽雄訳, 機能文法のすすめ, 大修館書店, 1991)
- Hart, Roger A. and Moore, Gary T., 1973, "The Development of Spatial Cognition: A Review", in Downs, Roger M., and Stea, David, eds., *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior*, Chicago, Aldine.
- Harvey, Brian, 1985, *Computer Science Logo Style, Vol.1 Intermediate Programming*, Cambridge, MIT Press.
- Harvey, Brian, 1986, *Computer Science Logo Style, Vol.2 Projects, Styles, and Techniques*, Cambridge, MIT Press.
- Harvey, Brian, 1987, *Computer Science Logo Style, Vol.3 Advanced Topics*, Cambridge, MIT Press.
- 波多野詮余夫, 安西祐一郎, 石崎俊, 大津由紀雄, 和溝口文雄, 1991, "道案内: 認知科学を概観する", in 安西祐一郎 et al. eds., *認知科学ハンドブック*, 共立出版.
- Hayes-Roth, Barbara, and Hayes-Roth, Frederick, 1979, "A Cognitive Model of Planning", *Cognitive Science*, 3, pp.275 - 310.
- Hazen, N. L., and Pick, H. L., 1985, "An Ecological Approach to Development of Spatial Orientation", in Johnston, T. D., and Pietrewicz, A. T., eds., *Issues in the Ecological Study of Learning*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, pp.201 - 243.
- Heft, Harry, and Wohlwill, Joachim F., 1987, "Environmental Cognition in Children", in Stokols, Daniel and Altman, Irwin, eds., *Handbook of Environmental Psychology*, New York, Wiley, pp.175 - 203.
- Herskovits, Annette, 1986, *Language and Spatial Cognition: An Interdisciplinary Study of the Prepositions in English*, Cambridge, Cambridge University Press.
- 池上嘉彦, 1983, 詩学と文化記号論: 言語学からのパースペクティブ, 筑摩書房.
- 池上嘉彦, 1984, 記号論への招待, 岩波新書.
- 海保博之, 1986, 「誤り」の心理をよむ, 講談社現代新書.
- 海保博之, 原田悦子, 黒須正明, 1991, 認知的インターフェイス: コンピューターとの知的つきあい方, 新曜社.
- Kaplan, Stephen, and Kaplan, Rachel, 1982, *Cognition and Environment: Functioning in an Uncertain World*, New York, Praeger.
- 小谷善行, 阿竹克人, 高田正之, and 福田洋, 1990, LOGO空間プログラミング, 岩波書店.
- Kuipers, Benjamin J., 1978, "Modeling Spatial Knowledge", *Cognitive Science*, 2, pp.129 - 153.
- Kuipers, Benjamin J., 1979, "On Representing Commonsense Knowledge", in N. V. Findler, Nicholas V., ed., *Associative Networks: The Representation and Use of Knowledge by Computers*, New York, Academic Press.
- Kuipers, Benjamin J., 1979, "Commonsense Knowledge of Space: Learning from Experience", *Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Los Altos, Calif., Morgan Kaufmann, pp.499 - 501.
- Kuipers, Benjamin J., 1982, "The 'Map in the head' Metaphor", *Environment and Behavior*, 14(2), pp.202 - 220.
- Kuipers, Benjamin J., 1983, "The Cognitive Map: Could It Have Been Any Other Way?", in Pick, H. L., and Acredolo, L. P., eds., *Spatial Orientation: Research, Theory, and Application*, New York, Plenum Press, pp.345 - 359.
- Kuipers, Benjamin J., 1983, "Modeling Human Knowledge of Routes: Partial Knowledge and Individual Variation", *Proceedings of Third National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-83)*,

- Washington, D. C.), Menlo Park, Calif., American Association for Artificial Intelligence, pp.216 - 219.
- Kuipers, Benjamin J., and Byun, Y. T., 1987, "A Qualitative Approach to Robot Exploration and Map Learning", *Proceedings of the IEEE Workshop on Spatial Reasoning and Multi-Sensor Fusion*, Los Altos, Calif., Morgan Kaufmann, pp.390 - 404.
- Kuipers, Benjamin J., and Byun, Y. T., 1988, "A Robust, Qualitative Method for Robust Spatial Learning", *Proceedings National Conference of the American Association of Artificial Intelligence (AAAI)*, vol.2, pp.774 - 779.
- Kuipers, Benjamin J., and Levitt, Tod S., 1988, "Navigation and Mapping in Large-Scale Space", *Artificial Intelligence Magazine*, 9(2), pp. 25 - 46.
- Leiser, David, and Zilbershatz, Avishai, 1989, "The Traveller: A Computational Model of Spatial Network Learning", *Environment and Behavior*, 21, 4, pp.435 - 463.
- Levitt, Tod S., Lawton, Daryl T., Chelberg, David M., Nelson, Philip C., and Dye, John W., 1987, "Visual Memory Structure for a Mobile Robot", *Proceedings of the IEEE Workshop on Spatial Reasoning and Multisensor Fusion*, Los Altos, Calif., Morgan Kaufmann, pp.92 - 106.
- Levitt, Tod S., Lawton, Daryl T., Chelberg, David M., Koitzsch, Kerry V., and Dye, John W., 1988, "Qualitative Navigation II", *Proceedings of DARPA Image Understanding Workshop*, Los Altos, Calif., Morgan Kaufmann, pp.319 - 326.
- Levitt, Tod S., Lawton, Daryl T., 1990, "Qualitative Navigation for Mobile Robots", *Artificial Intelligence*, 44, pp.305 - 360.
- Lynch, Kevin, 1960, *The Image of the City*, Cambridge, MIT Press, (丹下健三他訳, 都市のイメージ, 岩波書店, 1968)
- Lynch, Kevin, 1981, *A Theory of Good City Form*, Cambridge, MIT Press, (三村幹弘訳, 居住環境の計画: すぐれた都市形態の理論, 1984)
- 松澤俊雄, 1990, "大都市の発展と東京・大阪の交通", in 大阪市立大学経済研究所, ed., 世界の大都市 7 東京 大阪, 東京大学出版会, pp.155 - 189.
- McLuhan, Marshall, 1962, *Understanding Media: The Extension of Man*, New York, McGraw-Hill, (栗原裕 et al. 訳, メディア論: 人間の拡張の諸相, みすず書房, 1987)
- McCalla, Gordon I., Reid, Larry, and Schneider, Peter F., 1982, "Plan Creation, Plan Execution and Knowledge Acquisition in a Dynamic Micro-World", *International Journal for Man-machine Studies*, 16, pp.89 - 112.
- McDermott, Drew, and Davis, Ernest, 1984, "Planning Routes through Uncertain Territory", *Artificial Intelligence*, 22, pp.107 - 156.
- Miller, George A., Galanter, Eugene, and Pribram, Karl H., 1960, *Plans and the Structure of Behavior*, New York, Rinehart and Winston, (十島雅蔵他訳, プランと行動の構造, 誠信書房, 1980)
- Moles, Abraham A., and Rohmer, Elisabeth, 1977, *Psychologie de l'Espace*, Casterman, (渡辺淳訳, 空間の心理学, 法政大学出版局, 1983)
- Moles, Abraham A., and Rohmer, Elisabeth, 1982, *Labyrinthes du Vécu - l'Espace: Matière d'Actions*, Librairie des Méridiens, (吉田幸男訳, 生きものの迷路: 空間・行動のマチエール, 法政大学出版局, 1992)
- 門内輝行, 1991, "人間-環境系の設計方法論", in 人間-環境系の計画理論のとりえ方, 日本建築学会大会研究懇談会資料 (建築計画部門), p.5.
- 門内輝行 和 西田徹, 1992, "まちづくりハウスにおける参加のデザイン: デザインゲームの方法", in 人間-環境系の計画理論のとりえ方(続), 日本建築学会大会研究協議資料 (建築計画部門), pp.65 - 76.
- Neisser, Ulric, 1976, *Cognition and Reality*, San Francisco, Freeman, (古崎敬他訳, 認知の構図, サイエンス社, 1978)

- Newell, Allen, and Simon, Herbert A., 1972, *Human Problem Solving*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Newell, Allen, and Rosenbloom, Paul S., and Laird, John E., 1989, "Symbolic Architectures for Cognition", in Posner, Michael I., ed., *Foundations of Cognitive Science*, Cambridge, MIT Press, ("認知のための記号的アーキテクチャ", in 佐伯胖, 土屋俊 監訳, 概念と方法, 産業図書, 1991, pp.119 - 171.)
- 中西博 and 豊田順一, 1988, "認知地図の計算機モデル", in 伊藤正男 and 佐伯胖 ed., 認識し行動する脳: 脳科学と認知科学, 東京大学出版会, pp.283 - 301.
- 中西博, 中村孝, and 豊田順一, 1987, "認知地図の計算機モデル", 知識工学と人工知能研究会報告, 50, pp.1 - 8.
- 西田正吾 and 佐伯胖, 1991, ヒューマン・コンピュータ交流技術, オーム社.
- Norberg-Schulz, Christian, 1980, *Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture*, New York, Rizzoli.
- Norman, Donald A., 1986, "Cognitive Engineering", in Norman, Donald A., and Draper, Stephen W., eds., *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- Norman, Donald A., 1988, *The Psychology of Everyday Things*, New York, Basic Books, (野島久雄訳, 誰のためのデザイン?, 新曜社, 1990)
- O'Neill, Michael J., 1990, "Computer Simulation of the Cognitive Map: A Validation Study", *Proceedings of the Twenty-First Annual Conference of the Environmental Design Research Association (EDRA21)*, Champaign-Urbana, Illinois, pp.353 - 360.
- Pailhous, J., 1970, *La Representation de l'espace urbain: l'Exemple du chauffeur de taxi*, Paris, Press Universitaires de France.
- Papert, Seymour, 1980, *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, New York, Basic Books, (奥村貴世子訳, マインドストーム, 未来社, 1982)
- Passini, Romedi, 1977, *Wayfinding: A Study of Spatial Problem-Solving with Implications for Physical Design*, Dissertation, Pennsylvania State University.
- Passini, Romedi, 1980, "Wayfinding: A Conceptual Framework", *Man-Environment Systems*, 10, 1, pp.22 - 30.
- Passini, Romedi, 1984a, "Spatial Representations: A Wayfinding Perspective", *Journal of Environmental Psychology*, 4, pp.153 - 164.
- Passini, Romedi, 1984b, *Wayfinding in Architecture*, New York, Van Nostrand Reinhold.
- Passini, Romedi, 1988, "Wayfinding without Vision: An Experiment with Congenitally Totally Blind People", *Environment and Behavior*, 20, 2, pp.227 - 252.
- Piaget, Jean, and Inhelder, Bärbel, 1948, *La Représentation de l'Espace chez l'Enfant*, (trans. Langdon F. J. and Lunzer, J. L., *The Child's Conception of Space*, London, Routledge and Kegan Paul).
- Piaget, Jean, 1952, *La Psychologie de l'Intelligence*, Paris, Librairie Armand Colin, (波多野完治, 滝沢武久訳, 知能の心理学, みすず書房, 1960 (改訂版 1989))
- Pufall, Peter B., 1988, "Function in Piaget's System: Some Notes for Constructors of Microworlds", in Forman, George, and Pufall, Peter B., eds., *Constructivism in the Computer Age*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- Rappoport, Amos, 1982, *The Meaning of The Built Environment: A Nonverbal Communication Approach*, Tucson, The University of Arizona Press.
- Rittel, Horst W.J., and Webber, Melvin M., 1973, "Dilemmas in a General Theory of Planning", *Policy Sciences*, 4.
- Ryle, Gilbert, 1949, *The Concept of Mind*, London, Hutchinson. (坂本百大, 宮下治子, 服部裕幸訳, 心の概念, みすず書房, 1987)

- 佐伯胖, 1986, コンピューターと教育, 岩波新書.
- 佐伯胖, 1990, "アクティブ・マインド: 活動としての認知", in アクティブ・マインド: 人間は動きのなかで考える, 東京大学出版会, pp.1 - 24.
- Schank, Roger, and Abelson, Robert, 1977, *Scripts and Plans Goals and Understanding: An Inquiry into Human Knowledge Structure*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- Sebeok, Thomas A., 1976, "Semiotics: A Study of The State of Art", in Sebeok, T. A., *Contributions to the Doctrine of Signs*, Bloomington, Indiana University Press. (記号論—現状の概観, in 池上嘉彦他訳, 自然と文化の記号論, 勁草書房, 1985, pp.1 - 61)
- Sebeok, Thomas A., 1984, "Communication Measures to Bridge Ten Millennia", (一万年に橋かけるコミュニケーションの方法, in 池上嘉彦他訳, 自然と文化の記号論, 勁草書房, 1985, pp.129 - 172)
- Shafer, Dan, 1986, *Artificial Intelligence Programming on the Macintosh*, Indianapolis, IN, Howard W. Sams.
- Shemyakin, F. N., 1962, "General Problems of Orientation in Space and Representations", in Ananyev, B.G., ed., *Psychological Science in the USSR* vol.1, (NTIS No.TT62-11083), Washinton, DC, U.S.Office of Technical Reports.
- Siegel, Alexander W., and White, Sheldon H., 1975, "The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments", in Reese, Hayne W., ed., *Advances in Child Development and Behavior*, New York, Academic Press.
- Simon, Herbert, 1969 (second ed. 1981), *The Science of the Artificial*, Cambridge, MIT Press. (稲葉元吉, 吉原英樹訳, 新版 システムの科学, パーソナルメディア, 1987.)
- Simon, Herbert A. and Kaplan, Craig A., 1989, "Foundations of Cognitive Science", in Posner, Michael I., ed., *Foundations of Cognitive Science*, Cambridge, MIT Press. ("認知科学の基礎", in 佐伯胖, 土屋俊 監訳, 概念と方法, 産業図書, 1991, pp.1 - 61.)
- Smith, Terence R., Pellegrino, James W., and Golledge, Reginald G., 1982, "Computational Process Modeling of Spatial Cognition and Behavior", *Geographical Analysis*, 14(4), pp.305 - 325.
- Spencer, Christopher, Blades, Mark, and Morsley, Kim, 1989, *The Child in the Physical Environment*, Chichester, Wiley.
- Spencer, C. P., and Weetman, M., 1981, "The Microgenesis of Cognitive Maps: A Longitudinal Study of New Residents of an Urban Area", *Transactions of The Institute of British Geographers*, 6, pp.375 - 384.
- Stilings, Neil A., Feinstain, Mark H., Garfield, Jay L., Rissland, Edwina I., Rosenbaum, David A., Weisler, Steven F., and Baker-Ward, Lynne, 1987, *Cognitive Science: An Introduction*, Cambridge, MIT Press. (海保博之他訳, 認知科学通論, 新曜社, 1991)
- Suchman, Lucy A., 1987, *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*, Cambridge, Cambridge University Press.
- 高橋鷹志, 1986, 空間の知覚的尺度に関する研究, 学位論文, 東京大学.
- 高橋鷹志, 1992, "人間—環境系研究における理論の諸相", in 人間—環境系の計画理論のとらえ方(続), 日本建築学会大会研究協議資料(建築計画部門), pp.5 - 10.
- Tolman, E. C., 1948, "Cognitive Maps in Rats and Men", *Psychological Review*, 55, pp.189 - 209.
- Turkle, Sherry, 1984, *The Second Self: Computer and The Human Spirit*, New York, Simon & Schuster.
- 上野晴樹, 1985 (改訂 2 版 1989), 知識工学入門, オーム社.
- Vere, S., 1990, Planning, in Shapiro, Stuart, et al., eds., *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, New York, Wiley, p.748.
- Weisman, Gerald D., 1979, Way-finding in the Built Environment: A Study in Architectural Legibility. Dissertation, The University of Michigan.

- Weisman, Gerald D., 1981, "Evaluating Architectural Legibility: Way-Finding in the Built Environment", *Environment and Behavior*, 13, 2, pp.189 - 204.
- Weisman, Gerald D., 1987, "Improving Way-Finding and Architectural Legibility in Housing for the Elderly", in Roginer, V., and Pynoos, J., eds., *Housing the Aged: Design Directives and Policy Consideration*, Elsevier.
- Winston, Patrick H., and Horn, Berthold K. P., 1989, *Lisp* (3rd edition), Addison-Wesley.
- Wohlwill, Joachim F., 1981, "Experimental, Developmental, Differential: Which Way the Royal Road to Knowledge about Spatial Cognition?", in Liben, L. S., Patterson, A. H., and Newcombe, N., eds., *Spatial Representation and Behavior across the Life Span*, New York, Academic, pp.129 - 139.
- Wunderlich, Dieter, and Reinelt, Rudolph, 1982, "How to Get There from Here", in Jarvella, Robert J., and Klein, Wolfgang, eds., *Speech, Place, and Action*, Chichester, Wiley, pp.183 - 201.
- Yates, Frances A., 1968, "Architecture and the Art of Memory", *AD*, 12/1968. (玉泉八州男訳, 都市と記憶術, 現代思想, 11, 7, 1983年7月号, pp.158 - 167)
- Yeap, Wai K., 1988, "Towards a Computational Theory of Cognitive Maps", *Artificial Intelligence*, 34, 3, pp.297 - 360.
- Zimring, Craig, 1982, "The Built Environment as a Source of Stress", in Evans, G., ed., *Environmental Stress*, Cambridge, Cambridge University Press.

関連発表論文

- 日色真帆, 原広司, 藤井明, 堀場弘, 伊藤恭行, 1986, 都市の街区構成に関する研究—その3. ネットワーク・モデルによる分析—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1986年8月, pp.275 - 276.
- 日色真帆, 1987, 都市空間の経路に関する研究—LOGOによる経路の表現—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1987年10月, pp.567 - 568.
- 日色真帆, 1988a, 都市空間の経路に関する研究—銀座における WAYFINDING 実験—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1988年10月, pp.591 - 592.
- 日色真帆, 原広司, 門内輝行, 1988b, 都市空間の経路に関する研究—経路探索のモデル化—, 日本建築学会関東支部研究報告集, 1988年, pp.121 - 122.
- 日色真帆, 原広司, 門内輝行, 1989a, 都市空間の経路に関する研究—経路探索の実験とそのモデル化—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1989年10月, pp.571 - 572.
- 日色真帆, 原広司, 門内輝行, 1989b, 都市空間の経路に関する研究—Object Logo による経路探索モデル—, 日本建築学会関東支部研究報告集, 1989年, pp.165 - 168.
- Hiroyoshi, Maho, 1990a, Wayfinding behavior in urban space - Computer simulation in object logo -, EDRA21 (University of Illinois April 9 1990) workshop, "Wayfinding behavior and environmental design - Linking research and Practice" memo.
(EDRA21 ワークショップにおける発表 配付資料)
- 日色真帆, 原広司, 門内輝行, 金尾朗, 1990b, 都市空間の経路に関する研究—Object Logo によるコンピュータ・シミュレーション—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1990年10月, pp.877 - 878.
- 日色真帆, 原広司, 門内輝行, 1990c, 都市空間の経路探索に関するLOGO言語を用いた計算機モデルの作成, 日本建築学会関東支部研究報告集, 1990年, pp.145 - 148.
- 日色真帆, 原広司, 門内輝行, 1991, 都市空間の経路探索に関する研究—LOGO言語を用いた計算機モデルについて—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991年9月, pp.619 - 620.
- 日色真帆, 1992, 経路探索のマイクロワールド, in 日本建築学会建築計画委員会設計方法小委員会, ed., 人間—環境系の計画理論のとらえ方 (続), 日本建築学会大会研究協議会資料, pp.57 - 64.

謝辞

この研究をまとめるにあたって、ご指導を頂いた原広司教授（東京大学・生産技術研究所）に感謝いたします。著者の大学院在籍時より、幾度となく研究内容について議論してくださり、そして幾度となくブレイクスルーを見つけて下さいました。藤井明助教授（東京大学・生産技術研究所）からも温かい助言を頂きました。

高橋鷹志教授（東京大学）には、時間をさいて研究内容について相談にのっていただき、貴重なご助言と励ましを頂きました。舟橋國男助教授（大阪大学）には、経路探索研究の先達として終始ご指導頂きました。1990年のEDRA21におけるワークショップで著者が発表する機会を得たのも舟橋先生のおかげでありました。そのEDRA21の折りにミルウォーキーで著者を泊めてくださり、つたないコンピュータシミュレーションに貴重なアドバイスを頂いたWisconsin大学のWeisman教授にも感謝いたします。

Colorado大学のGross教授（当時MIT）は、1989年に著者の在籍していた原研究室を訪れ、LOGOを使ったシミュレーションについて評価してくださり、著者に希望を与えてくださいました。若井正一助教授（日本大学）には、実験に協力を頂きました。鈴木毅助手（東京大学）には、いつもよき理解者と批評家としてアドバイスを頂きました。

大学院在籍時からさまざまな協力と助言をくださった原研究室、藤井研究室の助手、技官、大学院生の皆さんにも感謝いたします。著者の実験に協力してくださり、しゃべりながら街の中を歩いてくださった被験者の皆さんにも感謝いたします。

この研究に関して、著者が最も感謝しなくてはならないのは、門内輝行助教授（早稲田大学）です。原研究室の助手であった門内先生は、著者を、LOGOと経路探索と設計方法と記号論という魅惑的な迷宮に導いてしまった。

研究をとりまとめるにあたって何かと便宜をはかってくださった、神戸芸術工科大学環境デザイン学科の先生方に感謝いたします。助手や事務職員の方々、そして学生諸君にも様々な協力をいただきました。

著者の研究に少しでもデザインの現場につながる部分があるとしたら、シーラカンス一級建築士事務所の皆さんのおかげです。友人の黒野弘靖さんには、お互いの研究をひたすら忍耐強く聞くという苦行をしいてしまった。また、多羅尾直子さんにも著者のたくさんの些細な問題をひたすら聞いていただいた。

最後に研究を支援してくれ、不思議なことに研究内容のよき理解者であった両親に感謝したいと思います。

1992年12月

日色真帆

