

博士論文

経路探索における空間推論を通じた
空間学習と諸問題

経路プラン作成と遂行時の自己中心参照枠
による定位と更新の学習促進効果

2018 年度

大津嘉代子

早稲田大学

目次

第1章 序論	1
1.1 本研究の概要	1
1.1.1 問題	1
1.1.2 本研究の構成	3
1.2 経路探索の特徴と過程	4
1.2.1 経路探索の認知過程	4
1.2.2 経路探索時の空間推論の要素	6
1.2.3 経路探索時の定位と更新	7
1.3 ナビゲーション方法の分類	7
1.3.1 ランドマークベースの更新	8
1.3.2 身体内情報ベースの更新	8
1.4 経路探索中の空間参照枠	9
1.4.1 空間参照枠の分類	9
1.4.2 経路探索における自己中心参照枠	10
1.5 空間移動と空間学習	11
1.5.1 空間表象の質的変容	11
1.5.2 空間表象の機能的側面	11
1.5.3 生物学的基盤の空間学習理論	12
1.6 自己中心参照枠と空間学習の実験研究	14
1.6.1 整列効果と自己中心参照枠	14
1.6.2 空間表象の自動更新	14
1.7 空間参照点	15
1.8 経路探索課題の分類	16
1.9 本研究の目的と仮説	17
1.9.1 研究目的と想定する空間推論	17
1.9.2 空間学習過程	18

1.9.3	経路探索課題	19
1.9.4	実験 1, 2, 3 の目的と仮説	20
1.9.5	学習結果を推測するための従属変数	23
1.9.6	角度データの分析方法	23
第 2 章	経路探索課題による参照点配列学習	25
2.1	実験 1 : 経路プラン作成時の空間推論	25
2.1.1	目的と仮説	25
2.1.2	方法	25
2.1.3	結果	29
2.1.4	考察	31
2.2	実験 2 : 経路プラン遂行時の位置更新	32
	-特定の意思決定地点がない場合-	
2.2.1	目的と仮説	32
2.2.2	方法	33
2.2.3	結果	34
2.2.4	考察	35
2.3	実験 3 : 経路プラン遂行時の位置更新	36
	-特定の意思決定地点がある場合-	
2.3.1	目的と仮説	36
2.3.2	方法	37
2.3.3	結果	38
2.3.4	考察	40
2.4	総合考察	42
2.4.1	複合型プランの空間学習促進機序	42
2.4.2	不規則更新の空間学習促進機序	44
2.4.3	方向判断課題で観察された空間知識の違い	46
2.4.4	一般化の限定とその他の問題	47
第 3 章	環境情報の違いによる不規則更新の効果	49
3.1	問題	49
3.1.1	実験 3 で用いられたナビゲーション方法	49
3.1.2	ローカル・ランドマーク	50

3.1.3	移動軌跡情報による更新	50
3.1.4	目的と仮説	51
3.2	実験4：ローカル・ランドマークと不規則更新	52
3.2.1	方法	52
3.2.2	結果	54
3.2.3	考察	55
3.3	実験5：移動軌跡情報による不規則更新	56
3.3.1	方法	56
3.3.2	結果	57
3.3.3	考察	59
3.4	総合考察	59
3.4.1	ローカル・ランドマークの影響	60
3.4.2	移動軌跡情報の影響	61
第4章	参照点配列の違いが空間学習に与える影響	65
4.1	問題と目的	65
4.2	実験6：参照点構造比較	67
4.2.1	方法	67
4.2.2	結果	71
4.2.3	考察	73
第5章	総論と展望	77
5.1	本研究のまとめ	77
5.1.1	各章の概要	77
5.1.2	本研究の意義	80
5.2	今後の課題	81
文献		83
付録		93
初出一覧		105

第1章

序論

1.1 本研究の概要

1.1.1 問題

一見同じような行動をしていても、行動を通じて得る空間知識は人により異なる。例えば友達どうしで旅行をして、1人はホテルや訪問先の場所と、それぞれの位置関係を覚えているのに、もう1人は訪問先の名前程度しか覚えていないこともあるだろう。現在地と目的地の位置関係がわからなくても、都市や建物内では移動可能なことが多く、大きな支障がない限り、個人がどのように、どの程度空間を学習しているかは日常生活ではあまり問題にされない。実際、学校教育においては、単独行動が増える小学校入学以降でも、場所の覚え方を教わる機会はそう多くない。しかし、日頃の行動を通じた空間学習は大切である。なぜなら、思わぬ事故や火災、災害等、空間内の事物の構造に応じた適切な移動をとっさに求められる場合があるからである。空間学習に違いが生じる要因は数多くあるが、その1つとして移動中に行う空間推論が挙げられる。本研究は空間学習の基礎研究であるが、とりわけ空間推論の差違が、空間学習に与える影響に注目する。

毎日通う職場や学校へは、目的地の方向を意識せず、慣れた経路を通りいつもの交通機関で移動している人が多いであろう。しかし、事故で電車が止まり、普段は降りない途中の駅から職場や学校まで歩くとしたらどのように道を見つけるだろうか。地図やナビゲーション機器がなければ、線路が伸びる方向、遠くに見える建物、知っている道等の手掛かりを探し、目的地の方向を考えて道を選ぶことになる。大規模空間において、ある場所から別の場所への移動は経路探索（wayfinding）と呼ばれ、出発地と目的地間の進路や経路を決め、たどる過程と定義される（Golledge, 1999）。

本研究は、大規模空間や建物内の経路探索で行われる空間推論 (spatial inference) を、空間学習の違いを生む要因として位置づけている。空間推論は、空間内の自分と物や場所の位置関係、物や場所どうしの位置関係といった空間関係に関する推論である。空間推論には、既存知識をもとにした新たな空間関係の計算過程が含まれる (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997)。経路探索における空間推論は、移動者が問題解決のために新しい経路を考慮することや、物や場所の新たな空間関係を認識することである (Rieser, 1983)。よく知られる空間推論は、“short cut”と呼ばれる、新しい経路として近道を見つける行動である。例えば、訪れた場所からの帰りに、往路より移動距離が短い道を考えて選択するのが近道行動である。近道行動のような空間推論は、既存の知識から新たな空間関係を見出す、空間知識の変容過程だと言える。従って、空間推論の違いは空間学習に影響を与える。しかし先行研究では、近道行動に代表される空間推論は、空間表象や学習の程度の指標となる従属変数として扱われることが多い (e.g., Espinosa, Ungar, Ochaíta, Blades, & Spencer 1998; Mengue-Topio, Courbois, Farran, & Sockeel, 2011; Montello, Hegarty, Richardson, & Waller, 2004; Siegel & White, 1975)。現在までに、空間推論を独立変数として扱い、空間学習の有様を調べた研究は少ない。

空間推論が行われる状況として、本研究は、地図やナビゲーション機器を用いない、経路探索による新奇空間の直接学習を研究対象としている。空間推論による具体的な学習機会としては、移動者から見た目的地等、経路探索上重要な地点の位置や方向の推測を想定している。初めて訪れたよく知らない場所で経路探索が行われるとき、その環境についてそれまで知りえた新しい知識を活用し、目的地等の方向を推測しなければならない。新奇空間における空間推論の違いは、新しい知識の活用方法の違いとなり、空間学習に強く影響を与えるというのが本論文の基本構想である。

経路探索と同様に、空間内を移動して目的地に到達する行動を、ナビゲーション (navigation) と呼ぶこともある。ナビゲーションは、移動を計画し、移動中に現在位置や方向を更新し、迷ったときは位置や方向を再度定めて目的地へ向けた移動を再開することと定義される (Loomis, Klatzky, Golledge, & Philbeck, 1999)。ナビゲーションが用いられるのは、位置や方向を推測する方略を伴う場合が多い (Karimi, 2015)。本研究では、目的地に移動する行動を経路探索と呼び、位置推測の方略が関係する場合にナビゲーションを用いる。

1.1.2 本研究の構成

本研究の章立てと構成をFigure 1.1に示した。本研究で扱う空間推論による空間学習過程には、同様の目的で行われた、手続きを踏襲できる先行研究が存在しない。また、仮説に至る基礎となる理論、先行研究は空間認知及び関連分野の多岐に渡る。そこで本章ではまず、心理学、行動地理学を中心に、経路探索、ナビゲーション、空間参照枠、空間学習といった複数の研究分野の先行研究を概観する。その後、本研究の目的と想定する空間推論について述べる。続いて、空間学習に強く影響を与える空間推論が行われるタイミング、および学習内容とその過程に関する議論を行う。本章の最後では、実験1, 2, 3の目的と仮説を述べる。

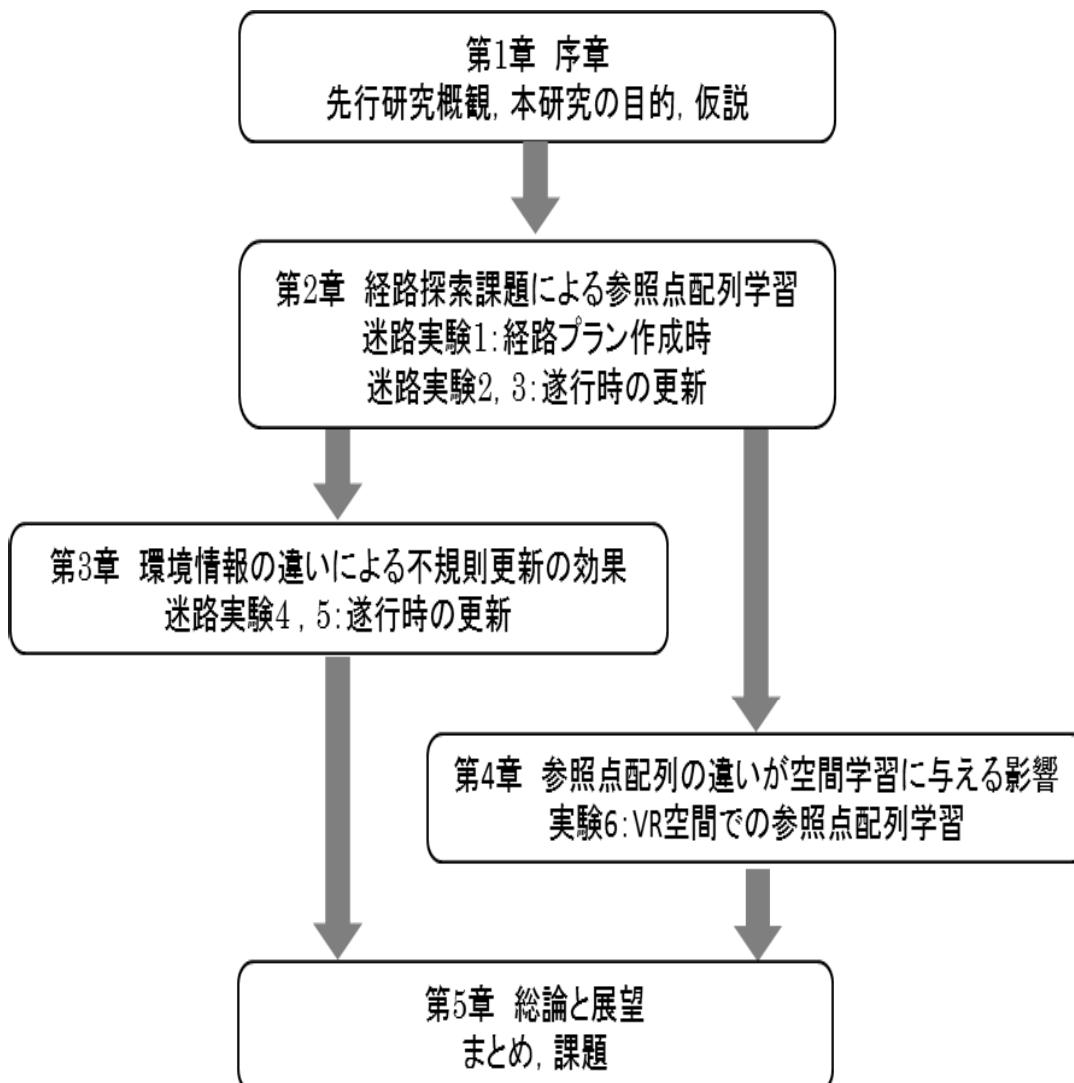


Figure 1.1 本研究の構成

第2章と第3章は、実空間に迷路を設置して経路探索課題を行った実験1, 2, 3, 4, 5により構成されている。そのうち第2章の実験1, 2, 3は、迷路に天井を設けず、迷路外の景観を課題遂行の手掛かりにできる状況で行っている。対して第3章の実験4, 5は、迷路に天井を設け、迷路外の景観の手掛かりを排除し、実験1, 2, 3とは異なる環境情報を手掛かりにする状況で行っている。第4章では、実験3から派生した副次的な空間学習効果に関する問題を取り上げ、デスクトップ上のVR空間を使用した検証実験（実験6）とその結果を報告している。最後の第5章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

1.2 経路探索の特徴と過程

大規模空間での移動行動は、心理学、地理学、建築学、工学といった幅広い分野で扱われ、数多くの研究が行われてきた。20世紀半ば以降、発達心理学分野においては、空間認知、表象、知識の段階的発達と空間行動との関係に焦点をあてた研究が行われた（e.g., Hart & Moore, 1973; Piaget & Inhelder, 1956; Siegel & White, 1975 ; Shemyakin, 1962）。これらの研究では、空間行動は空間認知、表象、知識の指標として捉えられた。1970年代以降になると、行動地理学、建築学等の分野でも大規模空間表象の研究が盛んに行われた。それらの研究では、人間の空間行動は移動空間内の環境要因と一緒に扱われた。また、経路探索、ナビゲーションといった日常的な行動も研究の対象とされた（e.g., Gärling, Böök, & Lindberg, 1984; Gärling, Böök, & Lindberg, 1986; Golledge, 1992; Hart & Berzok, 1982; Heft, 1983; Passini, 1984a）。

1.2.1 経路探索の認知過程

経路探索の大きな特徴は、移動者からは直接見えない離れた特定の場所へ移動する、目的的な行動だという点にある（Allen, 1999a）。そのため、経路探索は目的を達成するための問題解決過程と捉えられている（e.g., Gärling et al., 1984; Kuipers, 1978; Kuipers, Tecuci, & Stankiewicz, 2003; Passini, 1981, 1984b）。Russell & Ward(1982)は、経路探索を移動計画とその実行過程としたTravelモデルを提唱した。Travelモデルをさらに発展させたのが、Gärling et al.(1984)が提案した経路探索の情報処理モデルであった（Figure 1.2）。このTravelモデル

は,”action plan(行動計画:仕事や生活上必要な移動を伴う行動)”としてのTravelがどのように行われるかを示している。探索行動の最初の段階として、移動の目的となる行動（例：出社前に取引先に立ち寄る等）のための移動プラン（travel plan）が形成され、次にそのプランが実行される。このように、経路探索過程を移動計画の作成と実行段階に区別する考え方は、多くのモデルに共通している（e.g., Kuipers, 1978; Kuipers et al., 2003; Passini, 1981, 1984b）。

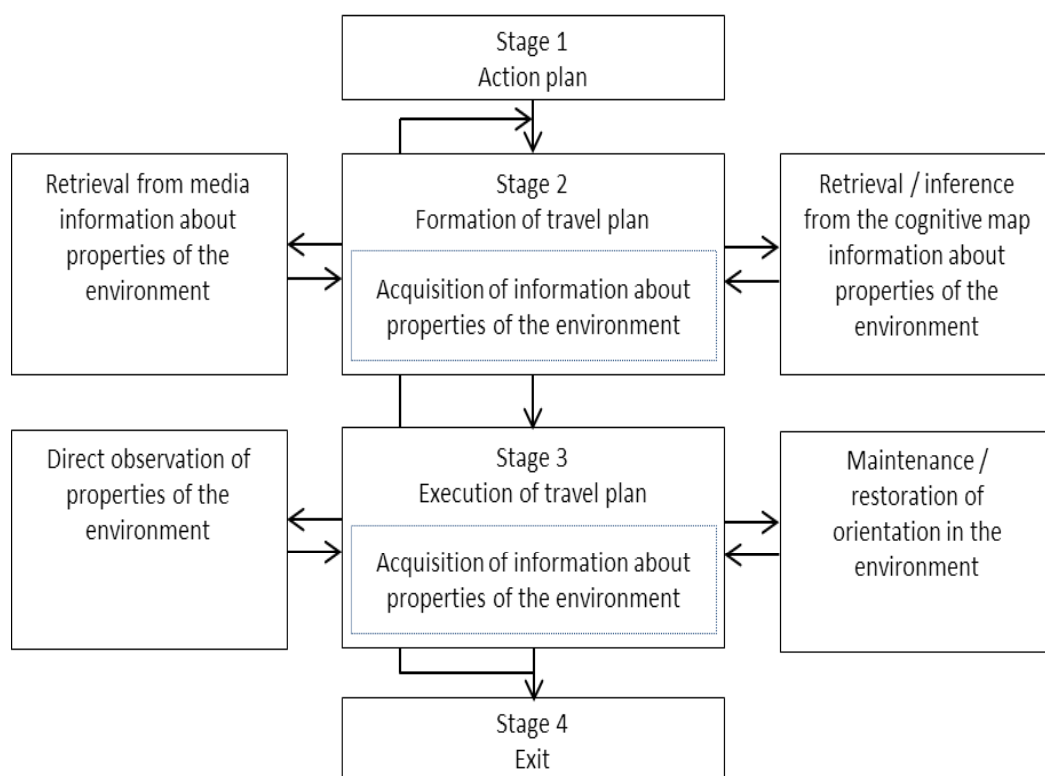


Figure 1.2 Travelモデル

(Gärling et al., 1984, p.21, Figure 2をもとに作成)

Travelモデルでは、移動空間の既存知識や表象は、環境からの直接的な情報とともに、経路探索に用いられる資源の一部であり、移動計画、実行の各過程を通じて変容すると考えられた。各段階の心理学的過程は、移動行動を実現するための意思決定過程である。具体的には、まず環境についての情報の取り込み、次にこれらの情報の知覚的・認知的表象、そして表象された情報に基づく判断・決定・選択等である。

移動プランには、長期記憶から検索した情報（例：目的地の位置、以前通った道順等）として移動空間に関する既存の知識が利用される。また移動プラン作成

を通じて、しばしば既存知識をもとにした空間推論が促される。例えば、「自宅から直接行ったことがないA百貨店に行く」という行動計画に基づいて移動プランを作成する際、出先からA百貨店に行った記憶から、利用可能な別ルートを推測し、自宅からの移動を計画する。移動プランには、地図やナビゲーション機器等、移動空間に関する外部メディアも利用される。いずれの場合も、移動プラン作成を通じて空間知識が獲得される。

移動プランの実行段階では、既存の空間知識と環境から直接得た情報（例：ランドマーク、道の状態）が照合され、方向を維持しながら移動が継続される。移動プランには修正が伴い、環境情報により細部が決定され変更される。例えば、目的地へ向かうために選択した道が工事で通れない場合、他の経路をその場で考えて移動プランを変更し実行する。移動プラン実行時にも、空間知識が獲得される。

コンパスや地図等の外部情報を用いない経路探索のモデルとしては、Kuipers (1978) のTOURモデルが挙げられる。このモデルでは、日常的な移動を通じて空間知識が形成される過程が扱われており、空間推論による知識の変容が想定されている。その空間推論に用いられる表象として、(1) Lynch (1960) により提唱された環境の構成要素をベースとした環境情報の表象、(2) 現在位置の表象、(3) これら2つの表象を操作するルールの表象が挙げられている。

1.2.2 経路探索時の空間推論の要素

移動計画、実行時の認知過程や方略を、経路探索実験参加者の発話内容から推測する研究が数多く行われてきた (e.g., Hölscher, Meilinger, Vrachliotis, Brosamle, & Knauff, 2007; Kato & Takeuchi, 2003; Passini, 1981, 1984b)。移動計画過程のプロトコル分析を行ったPassini (1981, 1984b) では、移動計画で考慮、決定する要素は多いものの、移動者は時系列で順序立てて問題に取り組んでいた。経路探索に関わる意思決定が順序立てて行われることは、Stern & Portugali (1999) でも指摘されている。

時系列の処理内容に注目しつつ、仮想空間での経路探索実験で行われた移動計画と実行過程のプロトコル分析を行ったSpiers & Maguire (2008) では、経路探索には経路プラン (route planning) と行動プラン (action planning) の2種類の主要な過程があることが示された。経路プランでは、まず初めに目的地の位置が想起され、次に現在地から目的への方向が推測、決定され、その次に経路を決

めるための道が想起、選択される。この研究では、発話内容から経路探索の要素を、経路プラン、行動プラン、惰性での進行 (coasting)、予期 (expectation) 等11種類に分類している。その中でも、経路プランは他の要素中最も頻繁に観察された。行動プランは直進、右左折等、経路プランの実行段階であり、経路プランに次いで頻繁に観察された。経路プランで目的地までの道順が決められるのとは異なり、行動プランは視界に入る範囲内でとる1つの行動に関するものである。代表的な行動プランは、経路プランで定めた経路に従って道を曲がるといった進行方向の決定であった。移動により視界に入る景観が変わると、新たな行動プランが繰り返された。行動プランで観察された進行方向の決定は、目的地へ到達するための重要な意思決定だと言える。例えば、Vandenberg (2016) は、進行方向を変える可能性のある交差点が、経路探索中に意思決定が多く行われる意思決定地点 (decision point) だとしている。

1.2.3 経路探索時の定位と更新

定位 (spatial orientation or fixing position) とは、空間中の物や場所に対する自分の位置を知ることである。定位は経路探索の特徴的行動の1つとされ (Vandenberg, 2016)、移動空間内の既知の物や場所に対する距離や方向の推測が含まれる (Philbeck & Sargent, 2013)。経路探索における定位は、周囲の状況を認識することで行動を可能にするための主要な機能であり、移動に伴い周囲の物との位置関係が変化する動的な過程と定義される (Rieser, 1999)。すなわち、出発地で認識した目的地との位置関係は移動に伴い変化していくことから、移動者は経路探索中必要に応じて定位し直して、現在位置と目的地の位置関係を推測する。このような、移動に伴う位置関係の認識の変化は更新 (spatial updating) と呼ばれる。位置関係の更新は、定位と同様に、移動空間内の既知の物や場所に対する距離や方向を推測し、現在の位置を知ることである (Philbeck & Sargent)。

1.3 ナビゲーション方法の分類

位置や方向の推測は、ナビゲーションにおける重要な要素である。ナビゲーションは、刻々と変化する自身の位置と進行方向に関する知識の更新とも定義される (Klatzky, Loomis, Beall, Chance, & Golledge, 1998)。ナビゲーションは、更

新に利用する情報によりパイロティング (piloting) と経路統合 (path integration or dead reckoning) に大別される (Gallistel, 1990; Loomis et al., 1999)。

1.3.1 ランドマークベースの更新

パイロティングは、外部環境に存在するランドマークを手掛かりに行う位置推測方法である。パイロティングは元々船舶の航法を指し、その後動物のナビゲーション研究でも用いられている用語である。ランドマークは環境中にある位置推測の目印であり、その機能によりグローバル・ランドマーク (global landmark) とローカル・ランドマーク (local landmark) に分類される (Steck & Mallot, 2000; Raubal & Winter, 2002)。グローバル・ランドマークは、大規模環境中であって目立ち、その位置が特定される物を指す。グローバル・ランドマークを用いた位置推測方法は、海事では沿岸航法や天測航法と呼ばれる。沿岸航法では、陸上の目標物の位置を指標にしながら、天測航法では、船から見える北極星や太陽の位置を測定して船位を特定する。これらの航法を大都市圏での徒歩移動に置き換えると、どこにいても見える高い建物をグローバル・ランドマークにし、自分の位置を推測しながら移動することである。もう一方のローカル・ランドマークは、環境中にあり比較的その物に近いところで視認でき、経路探索の手掛かりになる物である。例えば、「郵便局の角を右に曲がる」といった道順をもとに移動する際、右左折で進路を変える目印になる物を指す。大都市圏での日常的な移動は、ローカル・ランドマークをつないだ道順をもとに行われることも多い。ローカル・ランドマークには、視覚情報だけでなく、聴覚や嗅覚で知覚される情報も含まれる。

1.3.2 身体内情報ベースの更新

経路統合では、ランドマークのような外的な指標によらず、自らが移動した距離や方向の情報を統合することで現在位置を推測する。海事では推測航法と呼ばれ、悪天候により天測が行えず陸上の目標物もない海上での航行に用いられた。Darwin (1873) は、人間を含めた動物が推測航法と同様な方法でナビゲーションを行っているとは指摘していた。今日では、経路統合は昆虫や鳥類の帰巢行動のメカニズムとして知られる。経路統合では、身体移動時の速度・加速度情報によ

り移動した方向と距離が計算されると考えられている (e.g., Etienne, 1992; Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1982; Müller & Wehner, 1988; Wehner & Wehner, 1986)。経路統合によるナビゲーションは、人間にも想定されている。人間の場合、身体移動に伴う速度・加速度情報は、運動感覚 (kinesthesia; kinesthetic information), 前庭感覚 (vestibular information), オプティカルフロー (optical flow) の3種類のモダリティ情報から得られていると考えられている (Loomis et al., 1999)。

人間のナビゲーションには、パイロティングに加え経路統合も関わっていると考えられている (e.g., Allen, 1999a; Allen, 1999b; Golledge, Jacobson, Kitchin, & Blades, 2000)。しかし、経路統合過程ではランドマークや環境の特徴等を視認する視覚情報が除外されているため、晴眼者の日常生活における経路探索に経路統合がどう関わるかはっきりわかっていない。

1.4 経路探索中の空間参照枠

1.4.1 空間参照枠の分類

パイロティング、経路統合どちらにおいても、位置推測を行うためには、移動空間内の物や場所、目的地等何らかの対象が必要である。空間は本質的に相対的であり、対象や自分自身の位置や方向を認識するために、空間 (的) 参照枠 (spatial reference frame, spatial frame of reference) が必要である。

空間参照枠は、知覚や空間認知分野で長年研究されてきた (e.g., Attneave & Olson, 1967; Franklin & Tversky, 1990; Marr & Nishihara, 1978; Tarr & Pinker, 1989)。人間の空間認知, 空間記憶, 経路探索やナビゲーション研究では、空間参照枠は自己中心参照枠 (egocentric reference frames) と、それ以外の環境 (他者) 中心参照枠 (environmental or allocentric reference frames) 等の2つに分類される (e.g., Pani & Dupree, 1994; Piaget & Inhelder, 1956; Werner, Krieg-Brückner, Mallot, Schweizer, & Freksa, 1997; Werner & Schmidt, 1999)。人間がこの2種類の参照枠を利用していることは、神経学的研究でも確認されている (e.g., Committeri et al., 2004; Fink et al., 2003; Wilson, Woldorff, & Mangun, 2005)。

自己中心参照枠では「コーヒーカップは私の前にある」のように、物の位置や

空間関係は観察者の身体を基準に認識される。自己中心参照枠は、網膜中心 (retino-centric)、頭部中心 (head-centric)、体幹中心 (body-centric) 等のように、基準となる身体部位により分類される (Howard, 1991)。徒歩で経路探索を行う移動者が用いるのは、頭部中心と体幹中心参照枠だと考えられる。

対して非身体を基準とする環境 (他者) 中心参照枠では、観察者の身体との関係ではなく物どうしの空間関係が認識される。例えば、「コーヒーカップはテーブルの上にある」という対象の客観的な空間関係や、「皇居は東京駅の西にある」という方位を用いた空間関係は環境 (他者) 中心参照枠により認識される。非身体基準の参照枠には地中心 (geocentric) も含まれ、移動環境や、移動主体が持つ知覚属性により、重力方向、太陽方位、地球の磁場も基準となる (McNamara, Rump, & Werner, 2003)。経路探索時に移動者が用いる非身体基準の参照枠としては、自己を含めた空間中の物の客観的な空間関係を思い浮かべるという意味で、環境中心参照枠が想定できる。

1.4.2 経路探索における自己中心参照枠

探索空間内の物や場所どうしの位置関係は、自己中心・環境中心どちらの参照枠でも表現できる。目的地への具体的な経路プランを考えると、出発地と目的地との関係を、ナビゲーション・システムのノースアップ・モードのように環境中心参照枠で考えることも可能である。対して、探索空間の出発地にいる、もしくははいるとイメージして、ヘッドアップ・モードのように目的地を自己中心参照枠で位置づけることも可能である。出発後の経路選択の際にも、現在位置と目的地はどちらの参照枠でも表現できる。仮想空間で実験を行った神経学的研究によると、移動をイメージする際には自己中心、環境中心両方の空間参照枠に準拠するナビゲーションが行われると明らかになっており (Vavrečka, Gerla, Lhotská, & Brunovský, 2012)、実空間の経路探索においても、移動者が必要に応じて参照枠を使い分けていると考えられる。

これら2種類の参照枠の違いとして、Galati et al. (2000) は、自己中心参照枠は目標物や場所に到達する、危険を避けるといった目的志向の行動を組織化するために用いられるのに対し、環境 (他者) 中心参照枠は環境中の異なる物の構成を表象するのに用いられると指摘している。

1.5 空間移動と空間学習

ナビゲーションを通じて位置と進行方向に関する知識が更新される (Klatzky et al., 1998) と考えられているように、移動行動は空間学習と深く関係している。本節では、まず空間移動と空間学習の関係を扱う契機となった研究から、現在行われている神経学的研究までを概観する。空間行動と空間学習の関係は深く、古くはTolman (1948) が、空間行動は移動経験を通じて獲得した空間に関する主体の内的表象 (cognitive map) をもとに行われると提唱した。

1.5.1 空間表象の質的変容

空間知識の性質、変容及びその過程を扱ったShemyakin (1962) では、移動行動の系列的な表象であるルート型の知識 (route map) と、場所やランドマーク等空間内の対象の位置関係の表象であるサーヴェイ型の知識 (survey map) の2種類の空間知識が想定された。その上で、認知発達と空間行動の変化に伴いルート型からサーヴェイ型へ空間知識が変容する発達図式が提唱された。ルート知識からサーヴェイ知識への変容は、ランドマークを組込んだ道順の系列的な記憶から、距離や方向を伴った計量的な知識への変容と捉えられる。対象 (子ども、成人) や発達順序に関する差異はあるが、大規模空間表象としてこの2タイプを想定する研究は多い (e.g., Hart & Moore, 1973; Presson & Hazelrigg, 1984; Siegel & White, 1975; Thorndyke & Hayes-Roth, 1982)。それらの研究では、ルート知識、サーヴェイ知識の性質と変容過程が議論された。

1.5.2 空間表象の機能的側面

空間知識を移動に必要な機能として捉え、位相的、計量的知識の関係を示すモデルも提案されている。Poucet (1993) は、空間からの直接学習から位相的、計量的双方の空間表象が形成され、場所どうしの位置関係の表象へと至るモデルを提案している。ここでの場所とは、移動者の視界に入る空間である。このモデルでは、移動経路順の2つの場所の位相的つながりと方向を示す「その2カ所間限定 (location-dependent reference framework) のローカルチャート (local chart)」が仮定される。例えば、A地点、B地点、C地点の順で移動する場合、A地点からB地点、B地点からC地点のローカルチャートが作られる。直接移動していないA地

点とその先の地点の位置関係は、A地点からB地点、B地点からC地点、C地点からD地点といった複数のローカルチャートから計算される（Figure 1.3参照）。

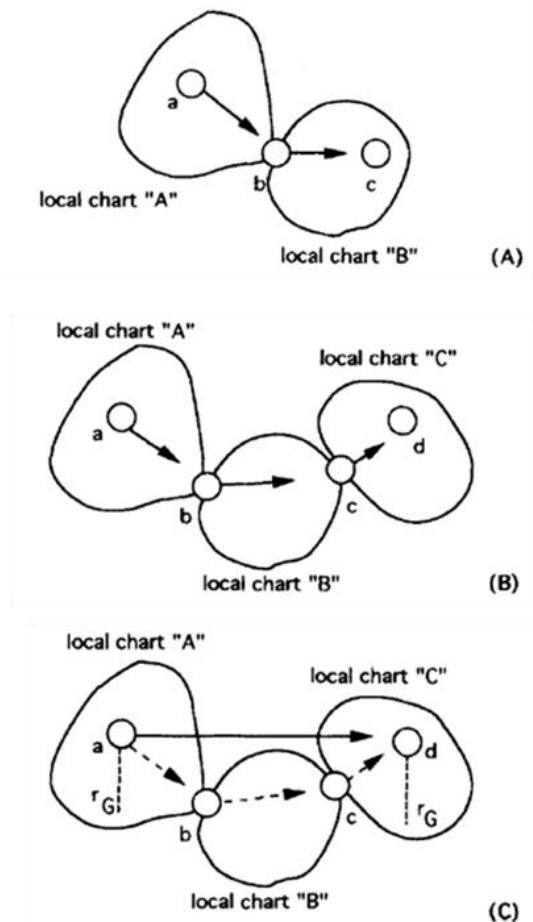


Figure 1.3 ローカルチャート (Poucet, 1993, p.174, Figure5)

ローカルチャートのように、空間内の局地的な情報と環境内の複数地点の計量的表象の関係を示すモデルとして、Meilinger (2008) の参照枠ネットワーク理論 (the network of reference frames theory) が挙げられる。この理論では、空間内の地点は数学のグラフ理論のノードに例えられている。ノードは、ある地点から移動者が見渡せる空間 (vista space) の参照枠とされる。隣接する他点との関係は、同じくグラフ理論のエッジに例えられている。エッジは地点間の移動とされる。隣接するノード間との関係は、移動による視点の更新により認識される。隣接しないノード間との位置関係も、この視点の更新をもとに認識される。

1.5.3 生物学的基盤の空間学習理論

O'Keefe & Nadel (1978) により、特定の場所にいるときに反応する場所細胞 (place cell) がラットの海馬で発見されて以降、動物の空間行動に関する神経学的研究が進んだ。同時に、神経学的研究をもとにしたナビゲーションに関する多くの情報処理モデルが提案された。前述のPoucet (1993) もこの流れに属する。

Trullier, Wiener, Berthoz, & Meyer (1997) はそれらの情報処理モデルを、知覚、表象、処理される情報の複雑さを基準に分類し、(1) Guidance, (2) Place recognition-triggered Response, (3) Topological navigation, (4) Metric navigationの、4段階のナビゲーション方略を提案した。最も単純な方略である(1) Guidanceは、物や場所どうしの位置関係といった空間表象はもとより、目的地がどこかの認識すら必要とせず、記憶した感覚情報による行動で目的地に到着する方略である。例えば、スナップショット (snapshot) と呼ばれる特定の場所からの見えを記憶し、移動中にその景色が見えたら右折するといった、視覚情報と運動情報の記憶が結びついた行動がGuidanceである。スナップショットにより喚起され一定方向に進むことを1回の移動と考え、次に別のスナップショットにより進行方向を変えて進むことを2回目の移動と考えると、Guidanceは、各移動を結びつけて考えない1回1回の視覚刺激がきっかけとなる行動と定義される。次の段階の(2) Place recognition-triggered Responseでは、Guidanceと異なり、移動主体は1回1回の行動の連なりを記憶し、目的地も認識している。この方略では、スナップショットと現在の見えが異なる場合は方向が修正される。但し、その方向判断は目的地と現在地の空間関係の認識からではなく、あるべき見え方に合わせることで決まる。(3) Topological navigationでは、Place recognition-triggered Responseで行動の連なりとしてだけ認識していた移動が、現在地と複数の目的地、通過地点等のネットワークとして連続形態で認識される。このネットワークは、グラフ理論に準じている。ネットワーク中の目的地はノード、それらをつなぐ経路がパスとされる。移動主体は、目的地どうしを結びつけるパスを経路として選択して移動する。(4) Metric navigationでは、接続形態だけでなく目的地どうし、現在位置と目的地の関係を距離や方向で認識し、近道や回り道が可能となる。

場所細胞以外にも、人間を含む哺乳類には、空間認識に関係する頭方位細胞 (head direction cell) と格子細胞 (grid cell) が存在することが明らかになっている。頭方位細胞は傍海馬台と後海馬台にあり、頭の方角に応じて選択的に反応する (Taube, Muller, & Ranck, 1990)。格子細胞は臭内皮質にあり、場所細胞が反応する地点間が特定の形状になる地点にいるときに活性化する (Hafting, Fyhn, Molden, Moser, & Moser, 2005)。これらの細胞と、動物のナビゲーションとの関

係もある程度明らかになっている。例えば、場所細胞は自己の位置，頭方位細胞は移動主体の向きと進行方向，格子細胞は距離についての情報を示すと考えられている。

移動に伴う環境変化の認識に関係した細胞の存在も報告されている。まず，空間の境界にいるときに活性化する細胞としてボーダー細胞 (border cell) が嗅内皮質にあると報告されている (Solstad, Boccara, Kropff, Moser, & Moser, 2008)。その他に，境界への近接と同時に頭部方向も関係して反応する境界ベクトル細胞 (boundary vector cell) が海馬台にあると報告されている (Barry et al, 2006)。これらの神経学的発見をもとに，空間記憶と関連したナビゲーションの計算モデルが提案されている (Madl, Chen, Montaldi, & Trappl, 2015)。

1.6 自己中心参照枠と空間学習の実験研究

1.6.1 整列効果と自己中心参照枠

空間参照枠と空間認知の関係が注目されたきっかけは，Levine (1982), Levine, Marchon, & Hanley (1984) による，現在地が表示された地図 (YouAreHere Map) を実空間と対応する際の困難度の違いを論じた研究であった。これらの研究では，YouAreHere Map が示す空間内の物の配置が，観察者が地図と向き合ったときに前方にあたる方向を上にして描かれていない場合，地図と実空間との対応が困難になると示された。このように，空間認知においては自己中心参照枠と関連し，方向判断の基準となる向きによって，判断のしやすさが異なることが知られている。この現象は整列効果 (alignment effect) と呼ばれる。整列効果は地図と実空間の対応時だけでなく，地図で学習した空間で実際に行動する際にも観察される (Presson & Hazelrigg, 1984)。対して，実空間を移動して直接学習した場合は，整列効果は生じにくいと考えられている。

1.6.2 空間表象の自動更新

実空間における直接学習でも，一定方向から空間内の物の配列を覚えた場合は，再生時の身体方向と関係して整列効果が生じる。Rieser (1989) では，周囲に置かれた複数の物 (ターゲット) とその位置を，参加者が一定方向から見て学習し

た。その後参加者は、目隠しをして実際に身体方向を変える条件と、異なる方向を向いていると想像した条件でターゲット方向を示した。その結果、異なる向きを想像した条件では、向きを変える条件より反応時間が長く、方向判断の誤差が大きかった。この現象は、整列効果が観察されるもう1つのケースとして注目された。このように、物の配置を学習した身体の向きと、方向判断時に想定する向きの不一致が方向判断に同様の影響を与えることはその後の研究からも確かめられている (e.g., Easton & Sholl, 1995; McNamara, 1986; Rieser, 1989; Rieser, Guth, & Hill, 1986; Roskos-Ewoldsen, McNamara, Shelton, & Carr, 1998; Sholl & Nolin, 1997)。

Rieser (1989) では、実際に方向を変えることで反応時間が短く、より正確な方向判断が行えたことも注目された。この現象の理由は、学習時に獲得された身体方位に依存した表象が、体の動きに伴って自己運動情報が伝える身体方向を中心に自動的に再配列されるからだと考えられた (Farrell & Robertson, 1998)。このような自己運動感覚が空間表象に与える効果は、自動更新 (automatic updating) と呼ばれる。自動更新は、一定方向から記憶した物の配置の表象だけでなく、経路図を一方向から見て学習した場合にも観察された (e.g., Presson, DeLange, & Hazeligg, 1989; Sholl & Nolin, 1997)。

空間記憶が学習時の身体方位に依存することは、視覚を中心にした多くの空間情報処理理論で示される、人間の物体認識における視点依存性と符合する。視点依存性に基づく認知過程では、3次元の物体の認識は、対象となる物体を複数の視点から見た記憶から形成されると考えられている (Edelman & Bulthoff, 1992)。Diwadkar & McNamara (1997), Shelton & McNamara (1997) は、この3次元の物体の認知過程を空間記憶にも適用し、身体方位に不変的に見える表象も、環境内を移動して得られた複数の身体方位依存的な情報から実現されると考えた。

自動更新は、経路統合によるナビゲーションの機序としても注目された。経路統合では、移動者から見たスタート地点との関係をホーミング・ベクトル (homing vector) で表す。移動者が進行方向を変えた場合、ホーミング・ベクトルの方向も変化する。この過程は、ホーミング・ベクトルが自己運動情報により自動的に更新されると捉えられた (Klatzky et al., 1998)。

1.7 空間参照点

空間の主要地点を意味する参照点 (reference point) は、元々カテゴリ化理論で使われた用語であった (Rosch, 1975)。カテゴリとは、りんご、みかんといった果実を「果物」と認識するように、複数の事物を1つの枠組みで捉えることである。Rosch & Mervis (1975) では、最も典型的なプロトタイプ事例を中心に、典型性に基づき事例が表象されるとされた。その典型性を認識する目印が参照点である。その後、Sadalla, Burroughs, & Staplin (1980) は、環境中のある場所は、他の場所と比べ特別な役割がある参照点となると提唱した。空間における参照点とは、よく知られている、人が頻繁に訪れる、視認性が高い、文化的、歴史的に意味のある場所や建造物を指す。例えば、東京中心部であれば東京駅、皇居等、多くの人々にとって同じ地区の他の場所より目立つ場所を指す。

Gärbling et al. (1984) によると、経路探索において距離や方向等の計量的な情報が表象されるのは、移動にとって重要な参照点のみだとされる。参照点の例として、ナビゲーション上重要な地点やそこにある物や場所、経路中にある目立った物、歴史的・文化的にシンボルになる地点、目的地等が挙げられている。

1.8 経路探索課題の分類

経路探索は心理学以外でも、神経科学、行動地理学、工学等幅広い分野で研究対象にされた。それらの研究では、目的や実施状況が異なる課題の結果が、同じような用語を使って論じられている。Wiener, Büchner, & Hölscher (2009) は、混乱を避け、かつそれらの結果を統一的に論じるため、先行研究で行われた経路探索課題の分類を試みた。この研究では、先行研究で示された経路探索やナビゲーションの定義 (e.g., Allen, 1999a, Kuipers, 1978, 2000; Mallot, 1999; Montello, 2001, 2005) から、移動者の空間行動を可能にする空間知識をベースに、経路探索に関わるナビゲーション行動を分類し、経路探索課題を統一的基準に位置づけることを提唱した (Figure 1.4)。

Wiener et al. (2009) は、Mallot (1999), Montello (2001) が示す空間行動の区分けを基準に、ナビゲーションを locomotion (環境情報に対応した行動) と経路探索に分類した。経路探索は、視認できない離れた空間へ移動する行動とされ、その実行には推論や意思決定のための計画や、その基礎となる表象が必要とされる。経路探索行動の分類基準は、現在地と目的地の位置関係の知識 (destination knowledge), 目的地への道順の知識 (route knowledge), 環境中

の異なる場所の位置関係の知識（survey knowledge）の3種類の知識の有無となっている。

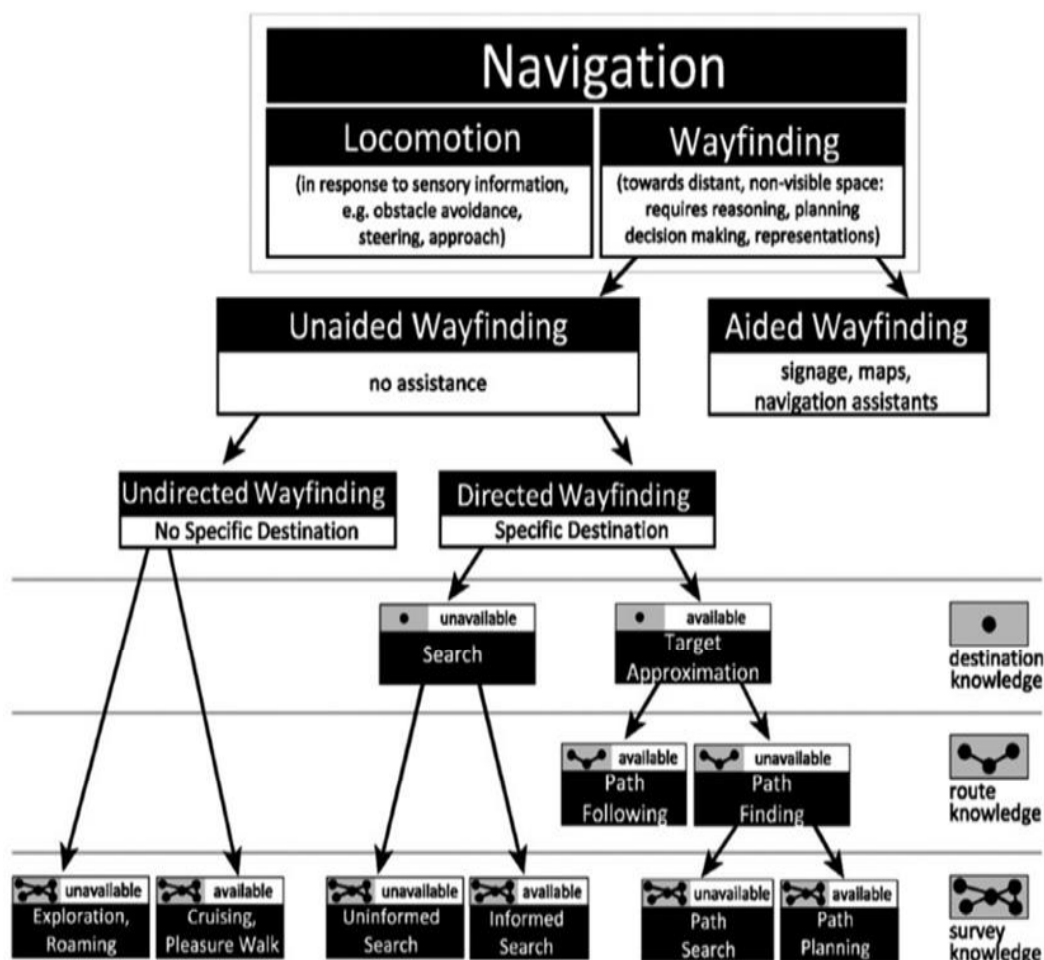


Figure 1.4 経路探索課題の分類 (Wiener et al., 2009, p.156, Figure 1)

1.9 本研究の目的と仮説

1.9.1 研究目的と想定する空間推論

本研究の目的は、新奇空間での経路探索を通じた空間推論の違いが空間知識の形成に与える影響とその学習過程を明らかにすることである。そのために、異なる空間推論を促す探索条件が設定された経路探索課題を行い、空間推論と空間学習との関係を検証する。具体的には、経路探索において重要な空間推論が行われる機会として、移動計画の作成と実行段階に区別するTravelモデル (Gärling et al., 1984) を前提に、それぞれの段階について、空間推論と空間学習との関係を

検証する。計画段階と実行段階の区分けは、先行研究で提案された多くのモデル（e.g., Kuipers, 1978; Kuipers et al., 2003; Passini, 1981, 1984b）に共通している。また、出発地での空間推論と、移動を始めてから位置関係の更新を伴う空間推論とは有様が異なることから、本研究でも個別に検証を行うこととした。

本研究が想定する空間推論は、移動者から見た目的地等、経路探索上重要な地点の位置と方向の推測である。移動計画段階については、経路プラン（Spiers & Maguire, 2008）を通じた空間推論が空間知識に影響を与えると想定した。経路プランでの方向推測は、移動経路を決めるための前提であり、同時に、移動者と目的地の位置関係を認識する定位である。

移動計画の実行段階では、経路探索の成否にとって重要な地点での空間推論が空間知識に影響を与えると想定した。重要な地点とは、Vandenberg (2016) が意思決定地点として挙げた、進行方向を変える可能性がある交差点等である。Spiers & Maguire (2008) の行動プランでは、進行方向を変えられる道が視界に入った時、直進、右左折が考慮され、進行方向が決められている。基本的には、分岐する道全てに対して移動者は進行方向の判断を行うと考えられる。その判断の全てで方向推測が行われるとは限らない。しかし、進行方向の判断が経路探索の成否に関わるような交差点においては、移動者は移動計画が正しく進行しているか周囲の環境を確認し、目的地との位置関係を更新して慎重に進行方向を選択するのではないだろうか。位置関係の更新は、移動者の位置と進行方向に関する知識の更新とも定義されている（Klatzky et al., 1998）。従って、更新を行った地点から目的地の方向を認識することは、探索空間の地点間の位置関係の学習機会と捉えられる。

1.9.2 空間学習過程

空間推論が行われる状況として、本研究は、地図やナビゲーション機器を用いない、経路探索による新奇空間の直接学習を想定している。実空間での直接学習においては、自己中心参照枠での目的地の位置や方向の推測の違いが、学習結果に影響を与えると考えられる。その理由は、外部メディアからの情報が得られない新奇空間では、現在位置の推測に必要な空間表象は、移動者の視界に入る自己中心参照枠で認識する環境情報から形成されるからである。Diwadkar & McNamara (1997), Shelton & McNamara (1997) では、自己中心参照枠の影響を強く受ける身体方位依存的な情報から、移動空間の表象が形成されると考え

られている。神経学的には、頭方位細胞や格子細胞等、身体の動きに関連した刺激に反応する細胞が、ナビゲーション時の方向や距離の推測の基盤と考えられている。さらに、自己中心参照枠は目標物や場所に到達する目的志向の行動を組織化するために用いられるとされることから (Galati et al., 2000), 具体的な移動計画や実行時の方向推測に深く関わっている。

加えて経路探索では、移動のために具体的な進行方向を決める必要があることから、定位や位置関係の更新時の方向推測では、自己中心参照枠での方向認識がとりわけ重要である。新奇空間において、目的地等への方向を判断する十分な空間知識がない場合、それまでに知りえた知識から、行動に必要な空間関係が推測される。例えば、不慣れな街で、ある目的地を目指して出発地で定位を行うとき、移動者は自分から見た目的地の方向を、指差すように自己中心参照枠で認識する場合がある。また、目的地を目指して歩行中、交差点等の意思決定地点でどちらに曲がるか考えるときも、同様に自己参照枠で目的地との位置関係を更新する場合がある。このような自己中心参照枠での方向推測を言い換えれば、探索空間に不慣れで、出発地や目的地、意思決定地点の知識が長期記憶に定着していない状況下で、曖昧な表象を利用して仮説を立てることである。その仮説は、実際の移動により検証される。このような過程は、空間参照点の位置関係の学習過程のひとつだと考えられる。

方向推測のしかたや複雑さの違いは、学習過程の違いとなり空間知識に影響する。例えば、探索空間の直接学習モデルであるTOURモデル (Kuipers, 1978) では、空間知識の変容過程において、環境情報と現在位置の表象が、ルールに従って操作されると考えられている。従って、変容過程で行われる表象操作が異なれば、形成される知識も異なると言える。また、Trullier et al. (1997) では、知覚、表象、処理される情報の複雑さの違いによる4種類の段階的なナビゲーション方略が挙げられている。従って、方向推測に求められる条件の違いによりナビゲーション方略が異なれば、空間学習にも影響を与えるであろう。

1.9.3 経路探索課題

本研究では、実空間に迷路を設置してゲームを模した経路探索課題を行い、偶発的な空間学習結果を比較する実験を行う。空間学習と自己中心参照枠を扱った先行研究では、限られた方向からの視覚情報による空間学習 (e.g., Easton & Sholl, 1995; McNamara, 1986; Rieser, 1989; Rieser et al., 1986; Roskos-

Ewoldsen et al., 1998; Sholl & Nolin, 1997), もしくは視覚遮断下での運動感覚情報による空間学習 (e.g., Presson et al., 1989; Sholl & Nolin, 1997) が扱われてきた。しかし, 視界に入る物の配置を静止して覚えることと, 経路探索を通じて物や場所の配列を学習することは, 学習過程が大きく異なる。晴眼者の日常的な移動は, 視覚情報を伴った身体移動により行われている。経路探索中に自己中心参照枠で認識する方向推測と空間学習の関係を明らかにするためには, 日常の経路探索状況に近い課題を使用する必要がある。

偶発学習の対象となるのは, 探索空間に配置した複数の目的地からなる空間参照点の配列である。空間参照点配列の知識変容は, 多くの空間知識発達理論 (e.g., Hart & Moore, 1973; Presson & Hazelrigg, 1984; Shemyakin, 1962; Siegel & White, 1975; Thorndyke & Hayes-Roth, 1982) や空間学習理論 (e.g., Meilinger, 2008; Poucet, 1993) と同様に, 位相的段階の参照点の知識から, 計量的な位置関係への変化と仮定する。従って, 空間学習が進む程, 計量的な位置関係を正確に表象できると予測する。

実験で行う経路探索課題は, Wiener et al. (2009) の分類では, 地図等の外部情報や誘導によらない経路探索で, 特定の目的地の知識が必要な課題に位置づけられる。参加者が課題を遂行する際に必要とするルート型知識は, 目的地へ至る移動経路の知識に相当する。サーヴェイ型知識は, 空間参照点の計量的な位置関係に関する知識に相当する。この課題では, 参照点配列の計量的な知識がどの程度形成されたかが観察対象となる。

実験1, 2, 3は, 迷路外の室内景観をグローバル・ランドマークとして利用可能な環境で行う。これらの実験の目的と仮説は本章で述べ, 実験結果を第2章で報告する。実験4, 5は, 迷路に天井を設けることでグローバル・ランドマークによる手掛かりを排除し, 実験1, 2, 3とは定位, 更新に利用できる環境情報を変えて行う。これらの実験については, 目的, 仮説を含め, 第3章でその結果を報告する。

1.9.4 実験1, 2, 3の目的と仮説

本研究では, 目的地の位置と方向推測に利用する情報や表象, 及びそれらに対する操作の違いが空間知識形成に影響を与えると想定している。この仮説を検証するために, 経路探索課題では, 移動計画とその実行段階ごとに, 異なる方向推測を促す条件を設定する。以下に, 実験1, 2, 3の目的と仮説, 想定する方向推

測の違いを述べる。

(1) 経路プラン作成時における包括的な方向推測の効果

実験1では、移動者が想起し、方向判断を行う目的地の数の違いによる、分離型プラン (separate route plans) と複合型プラン (combined route plan) の比較を行う。分離型プランでは出発地で次の目的地のみが提示され、その目的地に到着した後に次の目的地が提示される。これにより、移動者は1回の移動ごとに1つの目的地への経路プランを作成する。対して複合型プランは、一度に複数の目的地がまとめて提示される。そのため、移動者は複数の目的地への経路プランを包括的に作成する (Figure 1.5参照)。

実験1の目的は、経路プラン作成時の方向推測の包括性の違いが空間学習に与える影響の検証である。Poucet (1993) では移動起点と目的地の2地点間の位相的、計量的双方の空間表象であるローカルチャートが基礎となり、直接移動していない地点間の位置関係の表象が形成されると考えられている。従って、複数のローカルチャートを続けて思い浮かべる機会となる複合型プランの方が、空間全体の目的地の位置関係の学習が進む可能性がある。もし、経路プラン時の包括的な方向推測が空間学習を促進するならば、2地点間の位置関係を個別に考える分離型プランより、複数の2地点間の位置関係を同時に考える複合型プランの方が偶発的な空間学習が促進されるはずである。

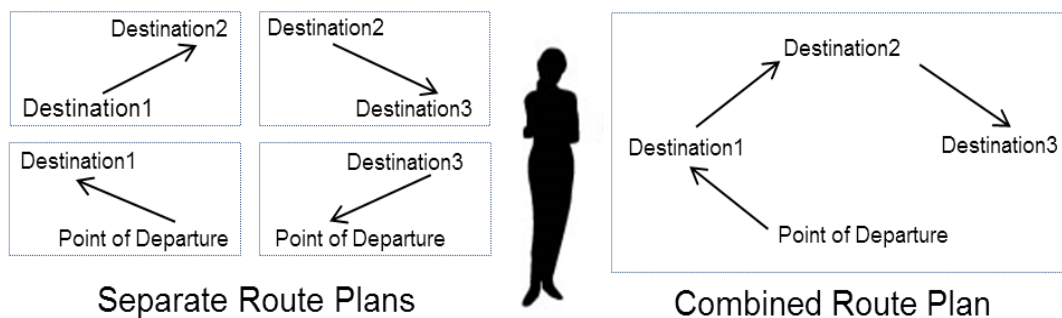
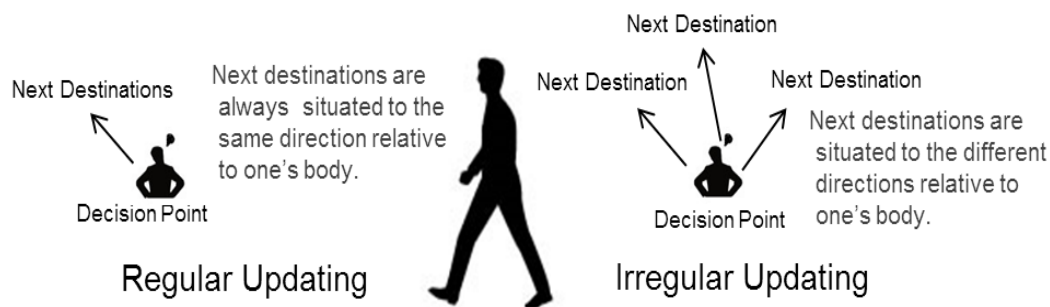


Figure 1.5 分離型プランと複合型プランの違い

(2) 経路プラン実行時における推測方向の多様性の効果

実験2, 3の目的は、経路プラン実行時の位置関係の更新における推測方向の多様性が、空間学習に与える影響の検証である。具体的には、経路探索の成否によって重要な意思決定地点において、進行方向を判断する際の推測方向の構成を変えることで、偶発学習に違いが生じるか検証する。実験2と実験3の違いは迷路形状のみとする。実験2では実験1で使用した目的地への経路選択肢が多い迷路形状

を用いる (Figure 2.2参照)。対して実験3では, 中央に設けた交差点を中心に, 各目的地への通路が分岐する迷路形状を用いる (Figure 2.8参照)。交差点での進行方向判断が, 正しい目的地に到着するか否かを定めるため, この交差点が経路



探索の要所である意思決定地点となる。

Figure 1.6 規則的更新と不規則更新の違い

どちらの実験でも実験1の複合型プランと同様に複数の目的地を同時に提示する。その上で, 目的地の提示順により中央交差点で2パターンの更新を促す。更新パターンの1つは規則的更新 (**regular updating**) で, もう1つは不規則更新 (**irregular updating**) である。規則的更新では, 移動者は中央交差点で, 身体に対して常に同じ方向にある目的地との位置関係を更新する。対して不規則更新では, 移動者は同交差点で, 更新ごとに異なる方向にある目的地との位置関係を更新する (Figure 1.6参照)。

経路プラン実行中に中央交差点で行う方向推測の多様性の違いは, 探索空間の参照点配列の偶発的な学習に影響を与えられと考えられる。その根拠として, 実験で使用する迷路形状においては, 方向推測の多様性の違いにより探索行動の複雑さが変わることが挙げられる。すなわち, 身体に対して常に同じ方向に目的地がある規則的更新では, 移動者は中央交差点で常に同じ方向の通路を選択することになる。対して不規則更新では, 移動者は中央交差点を通過するごとに異なる方向にある目的地に対する更新を行い, 異なる方向の通路を選択する。Trullier et al. (1997) では, 処理される情報の複雑さの違いによりナビゲーション方略の段階が異なるとされる。もし, 意思決定地点における多様な方向推測が空間学習を促進するならば, 不規則更新の方が規則的更新より偶発的な空間学習が促進されるはずである。さらにこの効果は, 中央交差点が設けられた実験3で観察されるはずである。対して, 経路選択肢が多い実験2では, どちらの更新パターンでも違いは生じないと考えられる。

1.9.5 学習結果を推測するための従属変数

経路探索課題を通じて形成された空間参照点配列に関する知識を、事後テストでの方向判断課題結果から推測する。事後テストで行うのは、学習空間中の特定の参照点で、特定の方向を向いている状態を想定したときの、他の参照点の360°の方向判断である。方向の推定は、環境についての表象を知る方法の1つである (Blades, 1997)。環境中の特定地点で特定方向を向いているときの相対的な方向判断は、空間表象の身体方位依存性に関する研究で多く用いられる。本研究の方向判断課題の目的は、環境中心参照枠でも表現され得る位置関係を、自分の位置、方向を想定した自己中心参照枠に置き換えて、いかに正確に回答できるかを調べることである。

1.9.6 角度データの分析方法

本研究では、従属変数である角度データの性質を考慮し、循環データ用の手法で基礎的な分析を行う。角度データは、間隔尺度に分類されるものの一般の数値とは異なり、数直線上で変化する360°の循環型データである (Zar, 1999)。角度データを含めた循環型の間隔尺度は、原点が存在しないだけでなく、数値の大小という概念も存在しない。例えば角度データは、任意の方向を0°とした場合、180°の方向が90°より大きい、270°の方向より30°が小さいという判断ができない。また循環データの分布は、数直線上に示される確率密度関数とは異なり、円周上で分布する確率分布に従うとされている (Batschelet, 1981)。

条件別のデータ集計では、一人あたりのデータの平均を取るのではなく、参加者全ての方向判断結果を、正解方向が0°となるよう加工した上で、個別データとして扱い、1つの分布としてまとめる。各条件の分布については、角度平均、 v 値を算出する (付録1)。 v 値は-1~1の数値をとり、正解方向を中心にデータがどのように分布しているかを表す分散の指標であり、1に近いほど正解方向にデータが集中していることを示す。 v 値はhomeward componentと呼ばれ、鳩が飛び立った方向と巣の方向との関係を調べる際等、特定の正解方向が存在する場合に用いられる (Batschelet, 1981)。次に、条件別データそれぞれについてデータが正解方向を中心に分布しているか否かを判断する V -test (付録1) を行う。角度平均については、条件間の差を確認するため Watson-Williams test (付録1) を行う。

条件間の方向判断結果の比較については、正解方向に近い判断が多いほど角度データの分散が小さくなることから、本研究では両群の方向判断の正確さの指標として角度データの分散を仮定した。分散の違いを検定する方法としては、Batschelet (1981) で推奨される Wilcoxon-Mann-Whitney test を用いることとする。

第2章

経路探索課題による参照点配列 学習

2.1 実験1：経路プラン作成時の空間推論

2.1.1 目的と仮説

実験1の目的は、経路プラン作成時に、移動の起点と目的地の関係を2つ1組で個別に考えるか、複数の2地点間の関係を1度に包括的に考えるかの違いが空間学習に与える影響を検証することである。具体的には、提示する目的地の数を変えることで、位置と方向を想起する目的地の数とその方法が異なる経路プランを作成するように促し、参照点配列の偶発学習に違いが生じるかを検証する。すなわち、出発地で次の目的地のみが提示され、その目的地に到着した後に次の目的地が提示される分離型プラン (separate route plans) と、一度に複数の目的地がまとめて提示される複合型プラン (combined route plan) による学習結果を比較した。もし、1回の移動ごとに1つの目的地への経路プランを作成するより、1度に複数の目的地への経路プランを作成する方が学習を促進するのであれば、複合型プランの方が分離型プランより事後テストの方向判断が正確なはずである。

2.1.2 方法

要因

経路探索課題中に参加者に提示した目的地数の違いを参加者間要因とした。水準1は、次の目的地1箇所のみを提示した分離型プラン群であった。水準2は、目的地3箇所と訪問順序をまとめて提示した複合型プラン群であった。

目的地は、課題中に訪問するディスプレイであった。このディスプレイが位置学習の対象となるターゲットであった。

実験参加者と分析対象者

早稲田大学で行われた学園祭来場者のうち、実験参加を希望し、かつ研究目的でのデータ使用を了解した18歳から30歳までの男女56名を対象に実験を行った。各群への参加者の振り分けは、1人目の男性（女性）は水準1、2人目の男性（女性）は水準2というように、各群の男女比が同一になるように行った。複合型プラン群の参加者のうち、訪問時に順序を間違えた女性3名は分析対象から除いた。群間の男女比統一のため、分離型プラン群の最後の女性参加者3名も分析対象から除いた。

分析対象者は各群25名、合計50名（平均年齢：分離型プラン群22.1歳、複合型プラン群21.1歳）で、男女内訳は各群とも9：16であった。

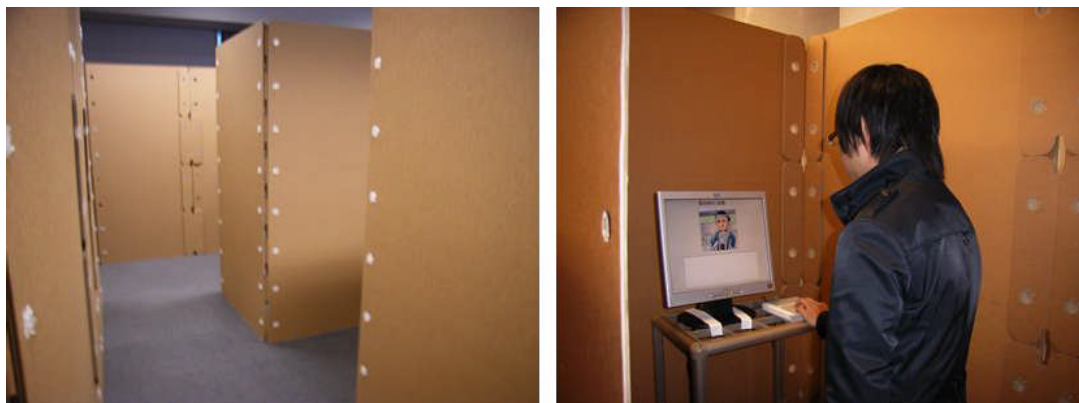


Figure 2.1 迷路の内観

装置・材料

強化段ボールパネル（縦2m、横1m）を組み合わせた迷路（縦横7m）を教室に設置した（Figure 2.1参照）。迷路形状、及び訪問先となるターゲット（ディスプレイ）の設置位置をFigure 2.2に示した。ディスプレイは、迷路内のどの位置からも2台同時に目に入らないように配置した。ディスプレイの前に操作ボタンを設置した。参加者が操作ボタンを押すと、探索課題のカバーストーリーの情報、教示等が提示された（付録2）。カバーストーリーに登場する4つのキャラクターは、各ディスプレイに振り分けられた。経路探索課題用及び事後テスト用のアプリケ

ーションを， Visual Basicで作成した。事後テストで使用した方向指示画面を， Figure 2.3の左図に示した。

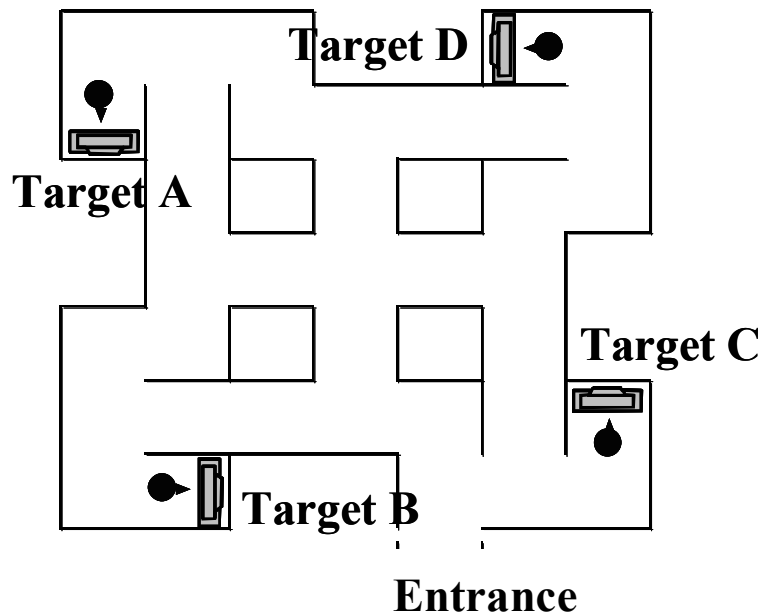


Figure 2.2 迷路形状1とターゲット配置

訪問順序

訪問順序は，ある地点を基点に経路探索課題中に2つのターゲットを同じ順序で訪問しない（例：ターゲットAからBへの移動は1度のみ），全ての組み合わせを設定した（Table 2.1参照）。訪問の起点となるターゲットは参加者により異なったが，迷路形状は回転対称であったため，各順序の訪問時のターゲット間の位置関係は同一であった。例えば，起点がターゲットBの場合，順序1は初回 $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow B$ ，二回目が $B \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B$ であった。

Table 2.1 ターゲットAを起点とした場合の訪問順序一覧

First round	Second round
1. Target A $\rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ and A $\rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$	
2. Target A $\rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ and A $\rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$	
3. Target A $\rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow A$ and A $\rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A$	
4. Target A $\rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A$ and A $\rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow A$	
5. Target A $\rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A$ and A $\rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$	
6. Target A $\rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ and A $\rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A$	

手続

実験は参加者ごとに個別に行われた。実験開始前、参加者には「迷路内でゲームを行い、終了後に簡単なクイズを行う」とだけ説明した。別室に待機した参加者は、アイマスクを着用し、実験者が押す車椅子に乗り迷路入口まで移動した。迷路を設置した教室に入った後、参加者は「迷路内にあるディスプレイを全て見つけ、見つける度に操作ボタンを押し、キャラクターの指示に従ってゲームを行う」よう説明された。実験者の誘導で迷路に入ったところで参加者はアイマスクを外し、経路探索課題を開始した。課題中は、実験者1名が常に迷路外に待機し、アプリケーションの操作と課題進行をモニタリングした。アプリケーションは、参加者を誘導した実験者が課題開始を告げた時点から開始された。どちらの群でも、1～6の訪問順序が参加者に均等に割り振られた。課題進行中は、各キャラクター前の操作ボタンが押し下げられた時刻を計測した。

経路探索課題は(1)自由探索フェイズと(2)訪問フェイズで構成された。まず自由探索フェイズでは、参加者は自由に迷路内を歩き、ターゲットを見つける度に操作ボタンを押し、各キャラクターから提供されたカバーストーリーに関する情報を読んだ。最後に見つけたターゲットの操作ボタンが押されると、そのターゲットを起点とした訪問フェイズに移行した。参加者は、起点ターゲットのキャラクターから他の3つのキャラクターを訪問するように指示された。分離型プラン群には、次に訪問するターゲットのキャラクターのみを提示し、参加者がそのターゲットに到着すると次の訪問先を知らせた。対して複合型プラン群には、訪問するキャラクター3つとその順番を提示した。一巡目の訪問を終え、参加者が起点ターゲットに戻ると、再び他のキャラクターを訪問するように指示が与えられた。各群とも1巡目と同様に2巡目を行い、再び起点ターゲットに戻ったところで経路探索課題が終了した。各キャラクター、カバーストーリー、及び参加者への提示文を付録2に記載した。

経路探索課題の後、参加者は控室に戻り事後テストを行った。キャラクターの名前等のフィルター課題5問に続き、参加者はランダムに出題されたターゲットどうしの12の相対的位置関係を判断した。質問方法は「○○(キャラクター名)のディスプレイに向かって立っているとして、××(他のキャラクター名)はどちらの方向にあるか」であった。参加者は、机に上向きに置かれたディスプレイを見下ろしながら、操作ボタンで矢印を回転(1°刻み)させて回答した。使用した回答画面(ディスプレイに向かって立つ参加者を俯瞰した状態を模したイラスト)と、3つの正解方向をFigure 2.3に示した。方向判断の起点と判断の対象となるタ

ターゲットの組合せは全部で12あったが、正解方向は3つのみ（各4つの組合せ）であった。

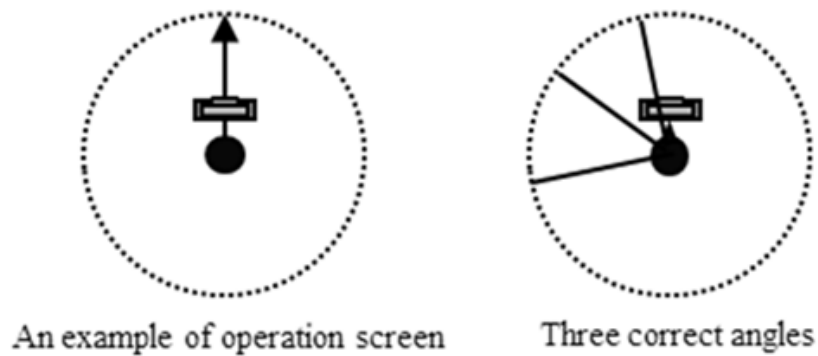


Figure 2.3 回答画面と正解方向

2.1.3 結果

方向判断

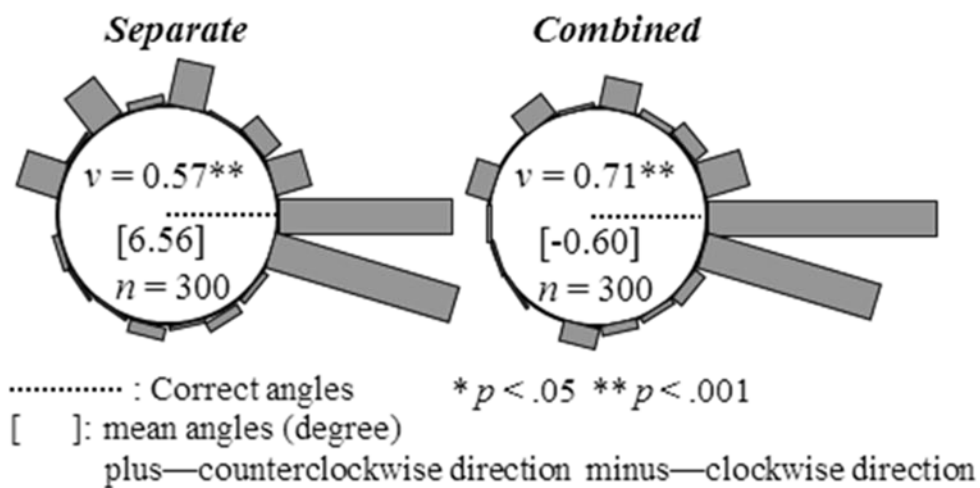


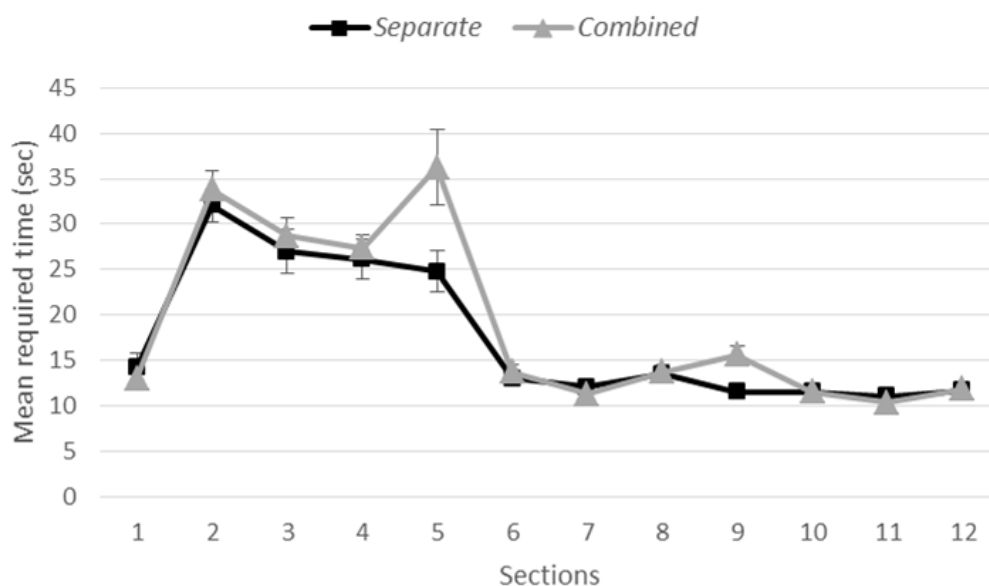
Figure 2.4 回答方向の度数分布

方向判断結果は角度データとして扱い、正解方向が0°となるよう加工した。参加者1人あたり12個の角度データは、平均値を取らず全て個別データとして群ごとの分布として分析した。各群の分布、角度平均、 v 値をFigure2.4に示した。 V -testの結果、両群とも正解方向を中心に分布するとみなせた（分離型： $n = 300$, $u =$

14.06, $p < .001$, 複合型 : $n = 300$, $u = 17.45$, $p < .001$)。両群の角度平均を比較するためにWatson-Williams testを行ったところ、有意差はなかった ($F(1, 598) = .04$, $p > .05$)。

分散の違いを確かめるために、両群の方向判断 ($n = 600$) の誤差の 1° 刻みの絶対値 ($0^\circ \sim 180^\circ$) を用いてWilcoxon-Mann-Whitney testを行った。その結果、複合型プラン群の分散が分離型プラン群より小さかった ($z = -2.29$, $p < .05$)。

課題遂行時間



The exploring phase

Section 1: from the start of the task, until a keystroke at 1st target

2: until a keystroke at 2nd target

3: until a keystroke at 3rd target

4: until a keystroke at 4th target (instructions)

The visiting phase (First round)

Section 5: until a keystroke at the first target visited

6: until a keystroke at the second one

7: until a keystroke at the third one

8: until a keystroke at the 4th target (instructions)

(Second round)

Section 9, 10, 11 and 12: the same as 5, 6, 7 and 8

Figure 2.5 各セクションの課題遂行時間とSE

探索課題の総課題遂行時間は、分離型プラン群208.93秒 ($SD 9.01$)、複合型プラン群227.42秒 ($SD 9.46$)であり、t検定の結果群間に差はなかった ($t(48) = -1.42$,

$p > .05$)。次に、探索課題を12セクションに分け (Figure 2.5参照)、各段階の課題遂行時間に群間により差があったか確かめた。提示ターゲット数 (群) を参加者間要因に、セクションを参加者内要因として2要因分散分析を行った結果、交互作用 ($F(11, 528) = 3.05, p < .01$) とセクションの主効果 ($F(11, 528) = 76.40, p < .01$) が有意であった。Student-Newman-Keuls法による多重比較の結果、訪問フェイズの開始時のセクション5においてのみ群間の課題遂行時間に差があり、複合型プラン群の遂行時間の方が長かった。参加者個人の r 値と総課題遂行時間との間には、有意な相関はみられなかった (分離型プラン群: $r = .13$, 複合型プラン群: $r = -.33$)。

2.1.4 考察

実験1では、経路プラン作成時の包括的な方向推測の効果を検証するため、1回の移動ごとに1つの目的地への経路プランを作成する分離型プランと、一度に複数の目的地への経路プランを作成する複合型プランによる偶発学習結果を比較した。実験に際しては、包括的な方向推測が空間学習を促進するという仮説をたてた。従って、複合型プランを作成した方が、分離型プランより事後テストで正確な方向判断を行うと予測した。両群の方向判断結果を比較したところ、複合型プラン群の方が分離型プラン群より正確にターゲットの相対的位置関係を回答しており、仮説を支持する結果が得られた。この結果から、経路プラン作成時の空間推論の違いが空間学習に影響を与え、複合型プラン作成が参照点配列の学習を促進したと確かめられた。

まず方向判断結果の傾向を考察する。両群とも、エラーが時計回りに10~19°ずれた方向に偏った。この理由は、3つの正解方向のうち2つが、想定する自身の位置から見た正面、及び左手方向からやや反時計回り方向にずれているからだと考えられる (Figure 2.3参照)。多くの参加者は、これら2方向を真正面、左手方向と判断したため、時計回り方向のエラーにつながったと考えられる。

次に、課題遂行時間の分析から、両群の遂行過程を考察する。遂行時間全体としては両群に差は見られなかった。しかし、自由探索フェイズと訪問フェイズを12セクションに分け、各セクションの遂行時間を比較すると、セクション5で複合型プラン群の参加者の方が分離型プラン群より長い時間をかけていたとわかった。セクション5は、自由探索フェイズで最後のターゲットのキーを押し、訪問するターゲットを指示されてから、そのターゲットに到着してキーを押すまでの

時間である。この時間差は、複合型プラン群の参加者が複数の目的地を指示されたため、経路プランを作成するのに分離型プラン群より時間がかかったことを示す。実験参加者が、Spiers & Maguire (2008) で観察された段階を経て経路プランを作成していたとすれば、まず目的地の位置を想起し、現在位置からの目的地の方向を推測し、経路を考えたはずである。従って、遂行時間の違いは、分離型プラン群が次の目的地に対してのみの方向を推測していたのに対し、複合型プラン群は複数の目的地を推測したために生じたと考えられる。

訪問フェイズでは2度ターゲットを巡回した。セクション9では、訪問の起点となるターゲットに戻り、再び訪問先を指示された。複合型プラン群の参加者はここでも3つの目的地を1巡する経路プランを作成したはずである。しかし、セクション5と異なり、かかった時間に分離型プラン群との統計的な差はなかった。この理由は、セクション5より複合型プラン群のターゲット位置学習が進み、目的地の想起と方向判断が容易になっていたことで、3つの目的地を回る経路プランを分離型プラン群と同じ時間で作成できたからだと考えられる。

二巡の訪問にかかった時間から、各群の迷路内での行動を推測すると以下のようことが言えよう。セクション5から12の遂行時間は、セクション5を除き、両群とも同程度であった。この実験で使用した迷路形状は、経路の選択肢が多く、迷路内の見通しも比較的よいと言える。従って、訪問フェイズではどちらの群も経路選択が容易に行えたはずである。迷路内の参加者の行動の詳細は記録していないが、遂行時間全体に差がなかったことから、各ターゲットで静止してカバーストーリーの情報や教示を読んでいた時間以外の、経路内を移動していた時間に大きな差はなかったと推測できる。また、両群とも各参加者の r 値と遂行時間に有意な相関がなかったことから、迷路内にいた時間は空間学習には影響しなかったと考えられる。

2.2 実験2：経路プラン遂行時の位置更新 -特定の意思決定地点がない場合-

2.2.1 目的と仮説

実験2の目的は、実験3と合わせて、経路プラン遂行時の推測方向の多様性が参照点配列の偶発的学習に与える影響の検証を行うことである。実験2では、実験1

と同じ形状の迷路を使用した。この形状は経路選択肢が多く、進行方向の判断が目的地への移動の成否を左右する特定の交差点は存在しない。その上で、実験3で使用する迷路の中央交差点で規則的な更新を行うパターン (**regular updating**) と、不規則な更新を行うパターン (**irregular updating**) を比較した。本実験で使用した迷路には、経路プラン遂行時に意識的に更新を行う意思決定地点と想定した中央交差点がないため、どちらの更新パターンでも空間学習の違いは生じないと予測する。また、実験では全員が複合型プランを作成したことから、学習進度としてはどちらのパターンも実験1の複合型プラン群と同等だと考えられる。

2.2.2 方法

要因

探索課題中に参加者に提示した訪問順序の違いを参加者間要因とした。水準1は規則的更新群、水準2は不規則更新群であった。

実験参加者と分析対象者

早稲田大学で行われた学園祭来場者のうち、実験参加を希望し、かつ研究目的でのデータ使用を了解した18歳から30歳までの男女44名を対象に実験を行った。各群への参加者の振り分けは、1人目の男性（女性）は水準1、2人目の男性（女性）は水準2というように、各群の男女比が同一になるように行った。規則的更新群、不規則更新群の参加者のうち、訪問時に順序を間違えた女性各2名は分析対象から除いた。

分析対象者は各群20名、合計40名（平均年齢：規則的更新群20.55歳、不規則更新群21.30歳）で、男女内訳は各群とも10：10であった。

装置・材料

実験1で使用した迷路形状1及びディスプレイ、アプリケーション類を使用した。カバーストーリーのみ実験1から変更し、新たな4つのキャラクターを使用した（付録2）。ストーリー上の理由は異なるが、実験1と同様に参加者に各ターゲットの訪問を促した。

訪問順序

実験1で使用した6つの訪問順序（Table 2.1参照）のうち、順序1と2を規則的

更新群に均等に割りあてた。これらの順序では、参加者は迷路四隅に配置したターゲットを右回り及び左回りに訪問した。例えば順序1は、1巡目の訪問でA→B→C→D→A, 2巡目にA→D→C→B→Aと一周するように巡る順序であった。残り4つの順序3, 4, 5, 6を不規則更新群に均等に割りあてた。これらの順序では、訪問時に規則的更新群のように環状に巡る規則性はなかった。

手続

基本的な手続は実験1と同様であった。但し本実験では参加者全員に、実験1の複合型プラン群と同様に、訪問フェイズの起点となるキャラクターで3つのキャラクターとその訪問順序を提示した。

2.2.3 結果

方向判断

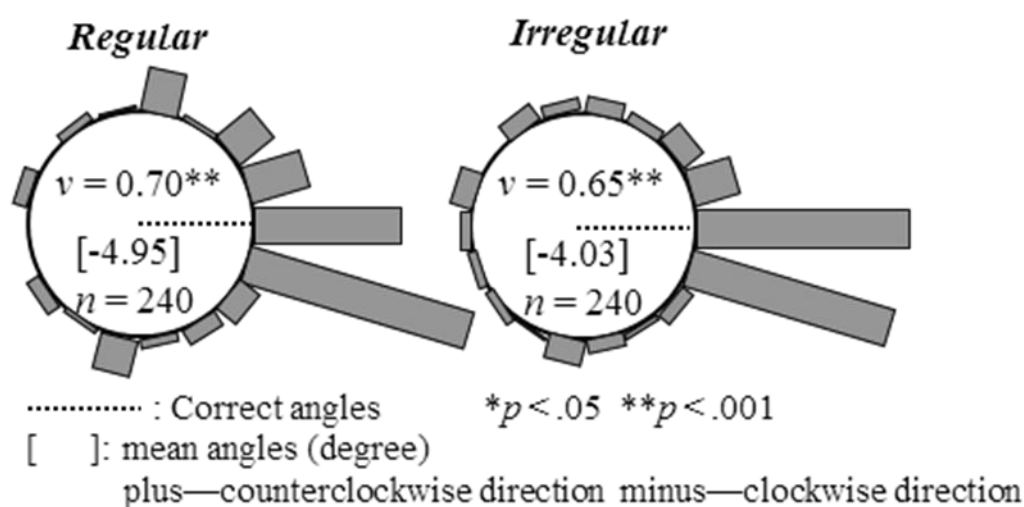


Figure 2.6 回答方向の度数分布

実験1と同様に方向判断結果を分析した。各群の分布、角度平均、 v 値をFigure 2.6に示した。 V -testの結果、両群とも正解方向を中心に分布するとみなせた（規則的更新： $n = 240$, $u = 15.38$, $p < .001$, 不規則更新： $n = 240$, $u = 14.30$, $p < .001$ ）。両群の角度平均を比較するためにWatson-Williams testを行ったところ、有意差はなかった（ $F(1, 478) = -1.40$, $p > .05$ ）。両群の方向判断（ $n = 480$ ）の誤差の 1°

刻みの絶対値 ($0^\circ \sim 180^\circ$) を用いて Wilcoxon-Mann-Whitney test を行った。その結果, 規則的更新群, 不規則更新群の分散に差はなかった ($z = -1.49, p > .05$)。

課題遂行時間

探索課題の総課題遂行時間は規則的更新群 243.63秒 ($SD14.87$), 不規則更新群 265.54秒 ($SD18.24$) であり, t 検定の結果群間に差はなかった ($t(38) = -.93, p > .05$)。訪問順序 (群) を参加者間要因に, セクションを参加者内要因として 2 要因分散分析を行った結果, セクションの主効果のみが有意であった ($F(11, 418) = 27.91, p < .01$) (Figure 2.7 参照)。参加者個人の v 値と総課題遂行時間との間に有意な相関はみられなかった (規則的更新群: $r = -.30$, 不規則更新群: $r = .10$)。

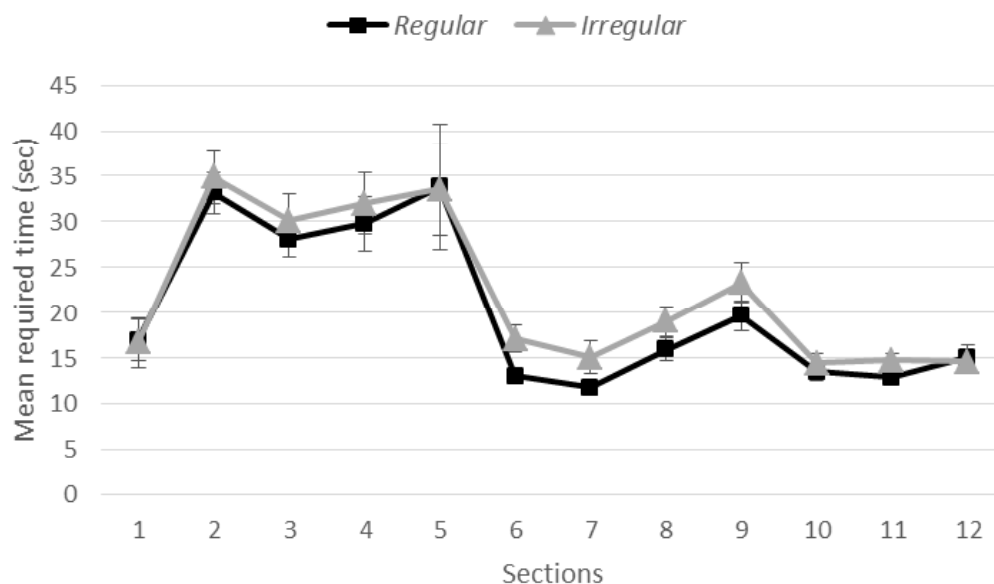


Figure 2.7 各セクションの課題遂行時間とSE

2.2.4 考察

実験2は, 経路プラン遂行時に, 進行方向の判断が目的地への移動の成否を左右する, 経路探索の要所となる意思決定地点での推測方向の多様性が空間学習に与える影響を検証する一環として行われた。本実験で使用した迷路は実験1と同様で, 意思決定地点となる交差点がない形状であったため, 規則的更新, 不規則更新の違いは観察されないと予測した。両群の方向判断結果を比較したところ, 回答の正確さに群間の差はなく仮説を支持する結果が得られた。

実験2では全員が複合型プランを作成したことから、包括的な経路プラン作成の学習効果は観察されるという仮説もたてた。従って、どちらの群も実験1の複合型プラン群と同等な正確さで相対的方向判断を行うと予測した。統計的な差があるか確認していないが、規則的更新群の v 値は.70、不規則更新群は.65なのに対し、実験1の複合型プラン群両群の v 値は.71と同程度であった。また、1巡目の訪問フェイズで複合型プランを作成したセクション5の遂行時間は、両群とも実験1の複合型プラン群とほぼ同等であった。従って、実験2では複合型プランの効果がある程度再現されたものと解釈できる。

方向判断のエラー傾向は、実験1と同様な理由で時計回りに10~19°ずれた方向に偏った。課題遂行時間の分析では、遂行時間全体、また各セクションにおいても群間の差はなかった。各参加者の v 値と遂行時間に有意な相関がなかったことから、どちらの群も迷路内にいた時間は空間学習には影響しなかったと考えられる。

2.3 実験3：経路プラン遂行時の位置更新 -特定の意思決定地点がある場合-

2.3.1 目的と仮説

実験3の目的は、経路プラン実行時の位置関係の更新における推測方向の多様性が、空間学習に与える影響の検証である。本実験は、各目的地への通路が中央交差点から分岐する形状の迷路（Figure 2.8）を用いた以外、実験2と同様の手続で行う。この迷路形状では、ターゲット間の移動には必ず中央交差点を通過する必要があり、右左折、直進の判断により正しい目的地に到達できるかが決まる。要因は目的地の提示順であり、推測方向の構成が異なる規則的更新と不規則更新の2種類の更新パターンを設けた。規則的更新は、中央交差点で身体に対して常に同じ方向にある目的地との位置関係を更新するパターンであった。不規則更新は、更新ごとに異なる方向にある目的地の方向を推測するパターンであった。実験3では、二つの更新パターンを比較することで、偶発学習に違いが生じるか検証する。もし、意思決定地点で多様な方向を推測することが偶発学習を促進するのであれば、不規則更新の方が規則的更新より事後テストの方向判断が正確なはずである。

2.3.2 方法

要因

探索課題中に参加者に提示した訪問順序の違いを参加者間要因とした。水準1は規則的更新群、水準2は不規則更新群であった。

実験参加者と分析対象者

早稲田大学で行われた学園祭来場者のうち、実験参加を希望し、かつ研究目的でのデータ使用を了解した18歳から30歳までの男女44名を対象に実験を行った。各群への参加者の振り分けは、1人目の男性（女性）は水準1、2人目の男性（女性）は水準2というように、各群の男女比が同一になるように行った。規則的更新群、不規則更新群の各参加者のうち、訪問時に順序を間違えた女性各3名は分析対象から除いた。

分析対象者は各群19名、合計38名（平均年齢：規則的更新群21.00歳、不規則更新群21.00歳）で、男女内訳は各群とも11：8であった。

装置・材料

実験1, 2で使用した迷路セット、ディスプレイ、及びアプリケーション類を使用した。カバーストーリーは実験2と同一であった。本実験に使用した迷路形状2では、中央に交差点を設けて各ターゲットへ鍵型の通路を配した（Figure 2.8参照）。迷路形状1と同様に、形状2も回転対称であった。迷路内での移動経路を記録するため、小型ビデオレコーダを使用した。

訪問順序

実験2と同様に、6つの訪問順序（Table 2.1参照）のうち、順序1と2を規則的更新群に均等に割りあてた。本実験の迷路形状により、順序1と2では、前のターゲットから中央交差点に着いたとき、次のターゲットは1巡につき常に参加者からみて同じ方向に位置した。その結果、参加者は訪問1巡につき中央交差点で左折及び右折を繰り返した。残り4つの順序3, 4, 5, 6を不規則更新群に均等に割りあてた。これらの順序では、前のターゲットから中央交差点に着いたとき、参加者から見た次のターゲット方向はそのつど異なった。その結果、参加者は訪問1巡につき中央交差点で左折、右折及び直進を行った。

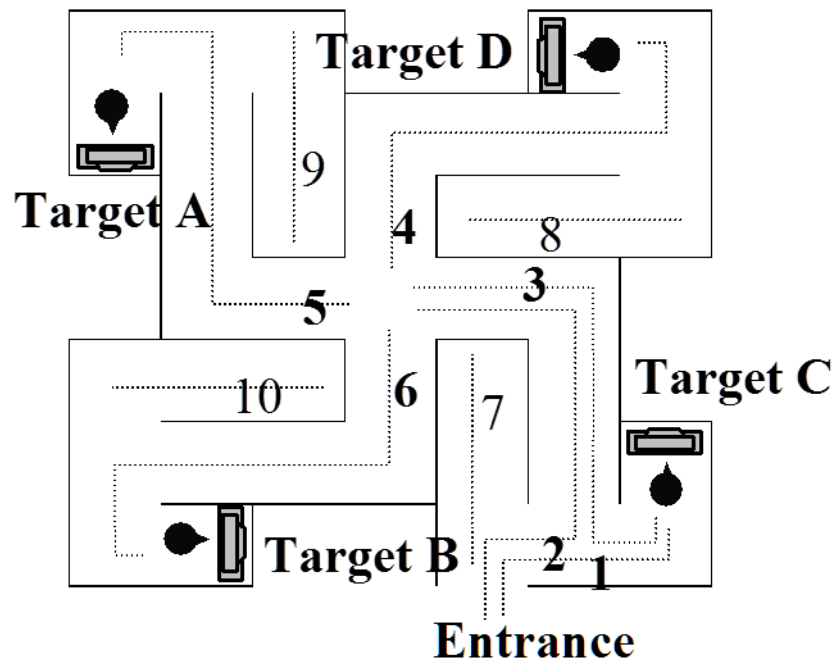


Figure 2.8 迷路形状2とターゲット位置及び通路分割

手続

探索課題中，参加者が小型ビデオレコーダを首から下げ，移動経路を記録した以外，基本的な手続は実験2と同じであった。

2.3.3 結果

方向判断

各群の分布，角度平均， v 値をFigure 2.9に示した。 V -testの結果，両群とも正解方向を中心に分布するとみなせた（規則的更新： $n = 228$, $u = 14.59$, $p < .001$, 不規則更新： $n = 228$, $u = 16.90$, $p < .001$ ）。両群の角度平均を比較するためにWatson-Williams testを行ったところ，有意差はなかった（ $F(1, 454) = -3.77$, $p > .05$ ）。両群の方向判断（ $n = 456$ ）の誤差の 1° 刻みの絶対値（ $0^\circ \sim 180^\circ$ ）を用いてWilcoxon-Mann-Whitney testを行った。その結果，不規則更新群の分散が規則的更新群より小さかった（ $z = -3.06$, $p < .01$ ）。

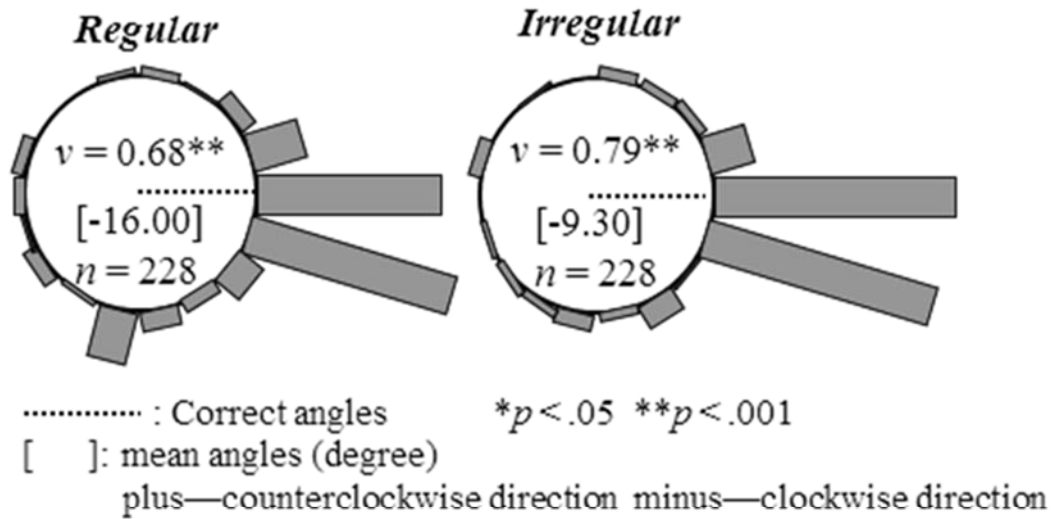


Figure 2.9 回答方向の度数分布

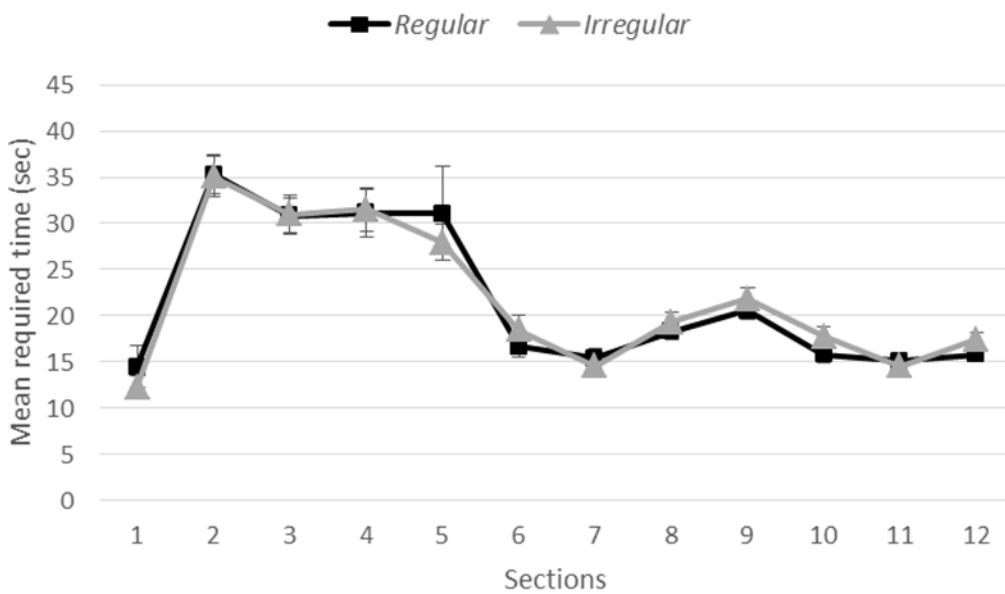


Figure 2.10 各セクションの課題遂行時間とSE

課題遂行時間

探索課題の総課題遂行時間は、規則的更新群260.21秒 ($SD12.86$), 不規則更新

群261.78秒 ($SD10.15$) であり, t 検定の結果群間に差はなかった ($t(36) = -.09, p > .05$)。訪問順序 (群) を参加者間要因に, セクションを参加者内要因として2要因分散分析を行った結果, セクションの主効果のみが有意であった ($F(11, 396) = 43.67, p < 0.01$) (Figure 2.10参照)。参加者個人の v 値と総課題遂行時間との間に有意な相関はみられなかった(規則的更新群: $r = .08$, 不規則更新群: $r = .25$)。

迷路内移動

探索課題中の参加者の移動経路をビデオ再生により確認した。迷路形状2をFigure 2.8の通り1から10の通路に分け, 参加者一人ずつ各通路の通過回数をカウントした。入り口からターゲットCに至る最短の通路1は分析から除外した。通路7, 8, 9, 10を通った参加者は一人もいなかった。各群の通路2, 3, 4, 5, 6の通過回数平均は, 規則的更新群23.97回 ($SD 2.57$), 不規則更新群23.87回 ($SD 1.77$) であり, t 検定の結果群間に差はなかった。参加者個人の v 値と通路2~6の通過回数との間に有意な相関はみられなかった(規則的更新群: $r = -.08$, 不規則更新群: $r = -.11$)。

自由探索フェイズで, ディスプレイを見つけても操作ボタンを押さず, 4つのディスプレイを全て確認してからボタン操作を行った参加者が各群1名ずついた。また, 訪問フェイズでは, 規則的更新群の5名, 不規則更新群の7名の参加者がディスプレイの前で訪問順序を間違えたことに気づき引き返していた。

2.3.4 考察

実験3では, 経路プラン実行時の位置関係の更新における推測方向の多様性の効果を検証するため, 規則的更新と不規則更新パターンによる偶発的学習結果を比較した。実験に際しては, 意思決定地点における多様な方向推測が空間学習を促進するという仮説をたてた。従って, 不規則更新の方が規則的更新より事後テストで正確な方向判断を行うと予測した。両群の方向判断結果を比較したところ, 不規則更新群の方が, 規則的更新群より正確にターゲットの方向を回答しており, 仮説を支持する結果が得られた。この結果から, 経路プラン実行時の更新による空間推論の違いが空間学習に影響を与え, 不規則更新が参照点配列の学習を促進したことが確かめられた。

経路プラン実行時の位置関係の更新は, 経路探索の重要な要素である (Rieser, 1999; Vandenberg, 2016)。Gärling et al. (1984) のモデルでも, 移動プランの

実行を通じて空間知識が獲得されると考えられている。従って、実験3の結果が示すように、更新パターンの違いが空間学習に影響を与えたと考えるのは妥当だと言える。そこで、本実験において更新パターンが方向推測や探索行動にどのような違いをもたらしたのか具体的に考察していく。

本実験では、実験2と同様に全ての参加者が複合型プランを作成・実行した。従って、参加者は出発地での経路プラン作成時に、3カ所の訪問ターゲットの位置を推測したと考えられる。しかし、迷路形状2は実験1, 2とは異なり、各ターゲットに通じる通路が限定されていたため、複合型プランを実行するためには、中央交差点で曲がる方向を正確に判断しなければならなかった。方向判断の方法として、例えば、自由探索フェイズ中に中央交差点から4方向に延びる通路を意識的にターゲットと結びつけて覚え、訪問フェイズでその記憶をもとに進行方向を決めることも可能である。しかし、訪問の起点となったターゲットで指示を受けるまで、参加者は訪問フェイズがあることは知らなかったため、この方法を用いたとは考え難い。それよりも、次のターゲットに向かう間に、改めて自己中心参照枠を用いて定位更新を行ったと考えるのが自然である。

次に、通路選択のためのターゲット方向の推測がどのタイミングで行われたのかを考えたい。次のターゲットへ向かう間、参加者は中央交差点で選択する通路を様々なタイミングで思い浮かべられる。例えば、3つのターゲットの訪問順序を指示されたときに、中央交差点で曲がる方向も含めた全経路を思い浮かべることが可能である。また、直前のターゲットを出発する前に次のターゲットへ向けて中央交差点での進路を考えることも可能である。しかし、事前に進行方向を考えていたとしても、中央交差点が目に入ったときにも改めて位置関係の更新を行っていたのではないだろうか。その理由は、**Spiers & Maguire (2008)**の行動プランでは、方向を変えられる道が視界に入ったときに進行方向が考慮、決定されているからである。

どちらの群でも多くの参加者は、中央交差点が目に入った後にターゲット位置を想起し、方向を確認し、進行方向を選択したと仮定すると、規則的更新群は、1巡の訪問中常に同じ方向に位置するターゲットとの位置関係を更新し、同じ方向に曲がり続けたことになる。対して不規則更新群は、1巡の訪問中、異なる方向のターゲットとの位置関係を更新し、中央交差点で右左折、及び直進した。中央交差点がない迷路形状で経路探索課題を行った実験2では、事後テストにおける方向判断の正確さに群間の違いはなかった。従って、実験3で示された両群の方向判断の違いには、意思決定地点である中央交差点での方向推測の多様性の違

い、及び探索行動の規則性の有無の両方が関係している。この点については、総合考察でさらに詳しく論じる。

方向判断結果から、規則的更新群の v 値.68は実験1の複合型プラン群(.71)、実験2の両群(規則的更新.70、不規則更新.65)とほぼ同等であった。直接統計的な比較はしていないが、数値から見るとこの実験でも複合型プランの効果が再現されたと推測できる。課題遂行時間の分析では、遂行時間全体、及び各セクションにおいても群間の差はなかった。セクション5の遂行時間に関しては、両群とも実験1, 2と同等であった。実験1, 2と同様に、両群とも各参加者の v 値と遂行時間に有意な相関がなかったことから、迷路内にいた時間は空間学習には影響しなかったと考えられる。また本実験では、迷路内での参加者の移動経路も分析した。その結果、迷路内での歩行量に群間で差はなかった。

2.4 総合考察

本章では、経路プラン作成及び実行時における、自己中心参照枠による空間推論の違いが空間参照点配列の学習に影響を与えるという仮説のもとに行った3つの実験を報告した。それらの結果は、経路探索課題にかかった時間や歩行量とは関係なく、経路プラン作成における方向推測の包括性、及び経路プラン実行時の方向推測の多様性が空間学習を促進したことを示している。

2.4.1 複合型プランの空間学習促進機序

実験1では、複合型プランの学習促進効果が確認できた。総合考察では、なぜ複合型プランに学習促進効果があったのかを考察していきたい。まず、経路プラン作成時、現在位置を含めたターゲット位置がどの参照枠でどのように認識されたか、群間での違いを考えたい。複合型プラン作成に必要なターゲットの位置関係は、自己中心、環境中心どちらの参照枠でも認識できる。しかし、自由探索フェイズ中「迷路ゲーム」に参加していると認識し、訪問フェイズがあると知らなかった参加者は、訪問フェイズで目的地を指示されたとき、全てのターゲットの位置関係を即座に環境中心参照枠で想起できるほど学習が進んでいたとは考え難い。多くの参加者は、訪問順序を指示されてから、その地点から見た各ターゲットを想起し、それらの方向を考えたのではないだろうか。全てのターゲットの位

置関係のみを自分とは関係なく客観的に表象したと考えるより、迷路内のターゲット方向をその場で指差すように推測したと考える方が自然である。経路探索は移動を目的とした行動である (Allen, 1999a)。この課題においても、参加者は指示されたターゲットまで移動する為に、Galati et al. (2000) で指摘されているように、自己中心参照枠を使用して目的地の方向を認識したと考えられる。従って、複合型プランでは、起点ターゲットにいる自分から見た他の3つのターゲットを自己中心参照枠上で同時に認識していたはずである。一方、分離型プランでは、経路プラン作成時には次のターゲットとの位置関係のみが認識されたと考えられる。

次に、複数の目的地を巡回する経路プランの空間学習効果について考えたい。複合型プランでは、出発地とターゲットの位置関係だけでなく、各ターゲット間の位置関係も考える必要があった。Poucet (1993) で仮定される複数地点間の位置関係の表象の形成過程に当てはめれば、分離型プランでは2カ所間限定のローカルチャートのように、移動者は現在地と次の目的地の2つの地点間の関係を移動のたびに個別に推測したことになる。対して複合型プランでは、移動の起点から目的地1、目的地1から2、目的地2から3の3種類の2地点間の関係を包括的に考えた (Figure 1.4 Combined Route Plan参照)。従って、複合型プラン作成により、参加者は訪問の起点となったターゲットも含めた4つの空間参照点どうしの位置関係を考えることで、直接移動を行わない目的地1と3、移動の起点と目的地3の位置関係まで考慮することが促された。このことが、複合型プランの学習促進効果につながったと考えられる。複合型プランでは2巡の訪問で、包括的な経路プランを2回作成している。さらに経路プラン実行中に次のターゲットに移動する際、残りの訪問先との位置関係を更新していた可能性もある。このような過程を通じ、複合型プラン群は事後テストにおいて分離型プラン群より、空間参照点の計量的な位置関係をより正確に表象できたのではないだろうか。

最後に、複合型プランを通じ包括的に空間参照点を認識する際の視覚情報処理の側面について考えたい。経路探索を通じた環境構造の知識形成に関して、探索中のさまざまな地点で得た特定方向からの見えが統合されるという考え方がある (e.g., Meilinger, 2008; Poucet, 1993)。本実験において、空間構造を把握するもとなる情報が自由探索フェイズ中にさまざまな地点から見たターゲットや、ターゲットに至る迷路内外の光景であるとするれば、訪問先の数が多い分、分離型プランより複合型プランの方がより多くの表象を複雑に操作することになる。その結果、空間構造をより把握できたと考えることもできる。この点に関しては、環

境内を移動して得られた複数の身体方位依存的な表象をもとに、身体方位に不変的に見える表象が実現されると考えたDiwadkar & McNamara (1997), Shelton & McNamara (1997) に照らしても、複合型プランの方が一度に多くの表象の処理が必要だったと推測できる。

2.4.2 不規則更新の空間学習促進機序

実験3では、不規則更新の効果が確認できた。総合考察では、なぜ不規則更新パターンに学習促進効果があったのか、各更新パターンによるナビゲーション方略選択の違いと、参加者が認識した迷路の空間参照点配列の違いの2つの視点から考察する。まず、各更新パターンの移動行動の特徴を、Trullier et al. (1997) のモデルに当てはめ、中央交差点での方向推測の規則性の有無がナビゲーション方略の選択に影響を与えた可能性を考える。このモデルでは、ナビゲーション方略は、探索行動での知覚、表象、処理される情報の複雑さを基準に4段階に分類されている。

最初に、規則的更新群が用いたナビゲーション方略について述べる。規則的更新群に限らず、本課題の全参加者は、訪問フェイズ開始時、少なくとも何らかの目的地の知識、目的地間のつながりである経路の知識は持っていたと考えられる。従って、同モデルの3段階にあたるTopological navigation方略を使用できる状態にあった。しかし、規則的更新パターンでは、訪問の起点となるターゲットで複合型プランを作成した際、迷路の四隅にあるターゲットを左回りと右回りで巡ると気がついた参加者もいたはずである。さらに移動中は、1巡の訪問中、中央交差点で左折か右折を繰り返せば、経路探索に成功した。規則的更新群の参加者がこの規則性に気がつけば、比較的簡単にターゲットを巡回できた。中央交差点でのこの規則性により、同モデルのPlace recognition-triggered Responseのように、目的地と1回1回の行動の連なりをわかっていたら訪問が可能となる。さらに中央交差点が目に入ったときに限れば、最も単純な方略とされたGuidanceでも通路の選択が可能であった。

対する不規則更新パターンでは、1巡の訪問中、中央交差点で右左折、及び直進をその都度判断する必要があった。従って、中央交差点では比較的注意深い更新が必要だったと考えられる。不規則更新群の参加者の方が中央交差点でより入念な更新を行ったとすれば、Trullier et al. (1997) のモデルで最も複雑な情報と表象が処理されるMetric navigation方略のように、現在位置と目的地、また目的

地どうしの計量的な位置関係を認識する機会となったのではないだろうか。不規則更新群が中央交差点からターゲットへの方向推測を行ったのに対し、規則的更新群が方向推測の必要性が少なかったと考えれば、1巡の訪問中、中央交差点で4つの向きから、それぞれ異なった方向にあるターゲット位置を考えた不規則更新群の方がより複雑な空間推論を行ったことになる。この違いが、両パターンが学習した空間知識の違いにつながった可能性がある。

次に、両更新パターンにおける中央交差点の重要性の違いを前提に、各パターンの参加者が認識した迷路の空間参照点配列の違いを推察したい。そもそも、実験3で観察された不規則更新の学習促進効果は、実験1で観察されたような、ある参照点を現在位置とした他の参照点への直接的な方向推測とは異なる。実験3では、移動者は中央交差点で、次の目的地へ向けての進行方向を確認するために更新を行っており、方向を推測する起点は中央交差点であった。事後テストでは、参照点間の位置関係を聞いており、中央交差点は方向判断の起点になっていない。このように、目的地ではない中央交差点での更新が、方向判断の正確さの違いにつながった。その理由はいくつか考えられる。例えば、中央交差点での重要な通路選択に備えるために、不規則更新群は、訪問先のターゲットにいるとき、次のターゲットに向かうため改めて経路プランを確認していたかもしれない。その際、参照点間の位置関係を考えることから、経路プランの確認頻度の違いが学習結果と関係しているとも考えられる。

他にも、更新パターンの違いにより、空間参照点の認識が異なったことが、空間学習に影響を与えた可能性も考えられる。例えば、不規則更新群の参加者の方が、規則的更新群の参加者より中央交差点を重要と認識したことで、中央交差点を空間参照点の1つと認識した可能性がある。Gärting et al. (1984)では、距離や方向等の計量的な情報が表象される参照点として、ナビゲーション方略上重要な地点も挙げられている。実験3の迷路において中央交差点は、ターゲットへ通じる通路を選択する唯一の分岐点であり、参照点の1つと認識されたと考えても不自然ではない。もし、不規則更新パターンの参加者が中央交差点も参照点と認識したとすれば、4つのターゲットと合わせて5つの参照点配列を学習したことになる。対して、規則的更新パターンではターゲット4つからなる参照点配列を学習したことになる。つまり、各群で異なる参照点配列を学習したことになる。この違いが、空間学習を促進し、不規則更新群の方向判断の正確さの一因となった可能性も考えられる。

2.4.3 方向判断課題で観察された空間知識の違い

本節では、事後テストの回答過程を考察し、方向判断の背景となる空間知識にどのような違いがあったのか考えたい。実験1, 2, 3の要因は、自己中心参照枠による参照点への方向推測の違いであった。そして、事後テストで求めたのは、各ターゲットで特定の方向を向いているときの、他のターゲットの方向判断であり、いずれも回答時、自己中心参照枠で認識する方向を聞いている。しかし、方向判断の正確さの違いには、自己と参照点の関係についての正確な表象のみではなく、全参照点配列の位置関係を環境中心参照枠で表象する際の精度の違いも反映されていると考えられる。

本学習本実験で求められた学習は偶発学習であり、参加者は事後テストが行われることを知らなかった。従って、経路探索課題中、各ターゲットにいる際に、他のターゲットへの自己中心参照枠で認識する12の相対的方向を、キャラクターの名前も含めて意図的に学習し、その表象を使って事後テストに回答していたとは考えられない。回答時、参加者が行っていた表象過程を考えると、例えば、(1) 迷路内の全ターゲットを想起し、(2) 回答に必要な起点と方向判断の対象となるターゲットを選択し、(3) 起点となるターゲットにいると想定し、向いている方向を考えて自分自身を定位し、(4) 再びその他3つのターゲットを想起しその中から方向判断を行うターゲットを選び、(5) 自己中心参照枠上の方向を示したと考えられる。例示した過程の全てを行っていなかったとしても、回答までの流れは(1)～(5)の順序で進んだのではないだろうか。

これらの段階を通じ、参加者は自己中心、環境中心どちらの参照枠も使用可能であった。しかし、全ての過程を自己中心参照枠のみで行っていたとは考え難い。むしろ、(1)、(2)や(4)を環境中心参照枠で表象し、(3)や(5)を自己中心参照枠で表象するといったように、2つの参照枠を切り替えながら回答していたと考えられる。もし、参加者の一定数が、表象する参照枠をこのように切り替えながら回答していたとすれば、方向判断の正確さの違いは、これら表象の使いこなしの難易度も反映しているはずである。

事後テストでは 360° の方向判断を行っており、回答の正確さは参照点配列の計量的表象の差を反映すると考えられる。しかしその差が、元々の配列の計量的知識の差なのか、方向判断を行う際の(1)～(5)のような表象の操作及び参照枠の使いこなしの難易度の差であるのか、今回の実験からは判断できない。しかし、いずれにしても事後テストでは、最終的な方向判断に至る過程で、参加者

は環境中心，自己中心の2つの参照枠で参照点配列を表象していたと考えられる。従って，参照枠を切り替え，必要に応じて表象を操作できるほど，正確な回答につながったはずである。言い換えると，表象した位置関係を，事後テストに回答するために操作し，自己中心，環境中心参照枠に置き換えながら，その場で求められる空間関係を計算できるように使いこなせる程，空間知識は精緻化したと言える。

2.4.4 一般化の限定とその他の問題

本章で報告した実験結果を，大規模空間の空間学習に一般化するには限界がある。本実験は中規模の実空間で行われているため，多くの面で大規模空間の経路探索とは異なる点がある。最も大きな違いは空間規模と参照点配列の単純さである。迷路の壁に遮られ複数のターゲットが同時に視界に入らなかったとはいえ，本実験ではターゲット間の距離が近く，配列も単純で学習しやすかった。日常生活で経路探索が行われる環境は，建物内，複数の建物や施設からなる空間や，街の一部，また街から街へと，その規模は多岐に渡る。参照点間の距離は一般的に本実験より長く，経路も複雑である。また，参照点の位置関係も，より複雑であることが多い。従って，今回の結果を，建物内や大規模空間での経路探索に直接あてはめることはできない。また，同じ中規模空間においても，参照点配列の複雑さの条件が変われば，今回と同じ結果が観察できるとは限らない。

結果の一般化に関するもう1つの問題は，本章の実験結果は，実験1，2，3で用いた物理的実験環境に依存する点である。これらの実験では，迷路の天井は塞がれておらず，教室内の景観が目に入った。経路プラン作成及び実行時の空間推論には，移動者の知識と合わせ，環境からの情報が大きな手掛かりとなる（e.g., Gärling et al., 1984; Kuipers, 1978; Kuipers et al., 2003; Passini, 1981, 1984b; Russell & Ward, 1982）。環境からの直接学習では，定位と更新の基礎情報となる環境条件もまた空間学習に大きな影響を与える。この点を考慮し，第3章の実験4，5では，ナビゲーションの手掛かりとなる環境を統制する条件を設定して実験を行った。

その他の問題として，2.4.2「不規則更新の空間学習促進機序」で述べた，認識された空間参照点配列の構造の違いが学習に与えた副次的影響が挙げられる。実験3の結果からは，意思決定地点である中央交差点が空間参照点として認識されたか否かは確認できない。この問題に関しては，経路探索課題による実験とは切

り離し，デスクトップ上の仮想空間を用いた検証実験を行った第4章で検討する。

第3章

環境情報の違いによる不規則更新の効果

3.1 問題

実験3では、経路プラン実行時、自己中心参照枠による多様な更新を促す不規則更新が、空間参照点配列の学習を促進することが確認された。しかしこの結果は、実験で用いた物理的環境に依存する。実験1, 2, 3では迷路の天井は塞がれておらず、経路探索課題中、迷路内にいる参加者には窓側にかかる遮光カーテン、廊下側の壁等、教室の部分的景観が見えた。経路プランの作成、実行には、探索空間の既存知識とともに環境情報が用いられており、空間推論の大きな手掛かりとなる (e.g., Gärling et al., 1984; Kuipers, 1978; Kuipers et al., 2003; Passini, 1981, 1984b Russell & Ward, 1982)。本章で報告されるのは、定位、更新に利用できる環境情報が実験3とは異なるように条件設定された上で行われた、2つの実験である。まず、第1章、1.3「ナビゲーション方法の分類」で述べた定位、更新のナビゲーション方略を再確認しながら、実験3での参加者の迷路探索課題遂行時の更新方法を考察し、教室の部分的景観の参照点配列の学習への影響を考えていく。続いて、実験3とは異なる環境情報を利用したナビゲーション方略による経路探索課題について検討する。

3.1.1 実験3で用いられたナビゲーション方法

徒歩移動では、刻々と変化していく自身の現在位置を推測するために、視覚情報や身体内情報が利用される (Klatzky et al., 1998)。ナビゲーション方法に照らすと、実験3の参加者が行った定位と位置関係の更新は、天井やカーテン等迷

路内から見える室内景観の一部を、位置推測のためのグローバル・ランドマークのように利用した、パイロティングに近いナビゲーションであったと考えられる。また、ターゲットは迷路の四隅に配置されているため、窓側、廊下側等、室内景観の特徴と関連づけて参照点の配置を学習できたと考えられる。

3.1.2 ローカル・ランドマーク

視覚情報で認識されるランドマークには、グローバル・ランドマークの他に、比較的その物に近いところで視認でき、経路探索の手掛かりになるローカル・ランドマークがある。ローカル・ランドマークを進路選択の手掛かりとし、移動者は現在位置や目的地の方向や距離を考慮しなくても経路探索が可能となる。

3.1.3 移動軌跡情報による更新

もう1つのナビゲーション方法は、身体内情報を利用した経路統合である。人間の経路統合は、身体移動に伴う視覚以外の速度・加速度情報（運動感覚、前庭感覚、オプティカルフロー）で行われると考えられている（Loomis et al., 1999）。更新される位置関係は、自己中心参照枠で認識される移動者から見たスタート地点との関係である（Klatzky et al., 1998）。人間のナビゲーションには、パイロティングに加え、経路統合も関わっていると考えられる研究者は多い（e.g., Allen, 1999a, 1999b; Golledge et al., 2000）。例えば、大都市圏や建物内の移動時、遮蔽物に囲まれて位置推測に使用できるグローバル・ランドマークがなく、同時にローカル・ランドマークも乏しい場合、経路統合に類似したナビゲーションを行っている可能性がある。但し、人間にとっては、経路統合よりランドマークベースのナビゲーションの方が優位だと分かっている。例えば、ナビゲーション方略の選好に関する研究において、ランドマークが視認可能な場合、晴眼者はパイロティングを選択している（Foo, Warren, Duchon, & Tarr, 2005）。また、視覚を遮断して経路統合を行った場合でも、ランドマークの既存知識があった方が正確な判断が行えると示されている（Philbeck & O'Leary, 2005）。

一般的な経路統合研究では、移動中の視覚情報が除外されるため、晴眼者が日常生活で行う経路移動に、経路統合がどうかかわっているかは明らかになっていない。現在の経路統合は、移動に伴い位置変化を更新し続けるオンライン（on-line）型の経路統合として狭義に定義されている。近年では、人間の経路統合に関して

は、自身の移動に関する知覚情報を保持し、まとめて更新を行うオフライン（off-line）型の過程を考える必要性が指摘されている（Philbeck & Sargent, 2013）が、オフライン型の経路統合に関する研究が進んでいるとはいえない。

経路統合の現状の定義に従えば、実験手続上視覚情報を遮断する必要がある、実験1, 2, 3と同様な探索課題を実空間で行うことは難しい。従って、いわゆる経路統合による更新を課題に組み込むことは困難である。本研究では、迷路に天井を設けることで、グローバル・ランドマークとなる迷路外の景観情報をなくした条件で、実験3と同様の課題を行う。本研究で使用している迷路素材は均一な規格で作られているため、エントランスのカーテン部分を除き、各通路は基本的に同じ景観である。迷路外の景観を排除すれば、意思決定地点となる中央交差点において、移動者自身がどちらから歩いてきたかを考え、運動情報に注目したオフライン型に近い更新を行う状況が作れると考えられる。本研究では**移動軌跡情報**、すなわち「移動に伴い変化する迷路内景観の視覚情報と、運動感覚、前庭感覚、オプティカルフローによる速度・加速度情報を合わせた情報」を新たに定義し、この情報を手掛かりにした空間学習の可能性を探索的に調べる。

3.1.4 目的と仮説

環境情報を分離、統制し、実験3とは利用できる環境情報を変えて、不規則更新の効果を検証する実験を2つ行う。実験4では、意思決定地点となる中央交差点で目的地方向の手掛かりとなるローカル・ランドマークが提示される条件を設定する。実験5は、迷路内を歩行した移動軌跡情報を方向推測の手掛かりとする環境条件である。以下に各実験の目的と仮説を述べる。

(1) ローカル・ランドマークの設置

実験4の目的は、中央交差点のローカル・ランドマークを手掛かりに進行方向を決定する場合の、不規則更新パターンの空間学習促進効果の検証である。この実験では迷路の天井を布で塞ぐとともに、中央交差点にカバーストーリー上のキャラクターに対応する標識を設置する。この標識は各キャラクターがいる場所を示し、ローカル・ランドマークとして、迷路中央交差点での通路選択の手掛かりとなる。それ以外は、実験3と同様の手続で実験を行う。

実験3における規則的更新と不規則更新の空間学習結果の違いは、中央交差点での推測方向の多様性の違いによるものであった。従って、中央交差点でローカ

ル・ランドマークを利用し進行方向が決められる場合、方向推測の必要がないため更新の違いを促す訪問順序要因の効果はなく、規則的更新、不規則更新どちらのパターンでも学習結果に違いはないと考えられる。従って、両群の事後テストの方向判断の正確さに差はないと予測できる。

(2) 移動軌跡による不規則更新

実験5の目的は、迷路外の景観の手掛かりがなく、移動軌跡情報のみを手掛かりに行う不規則更新パターンの学習促進効果の検証である。実験4と同様に迷路天井を布で塞ぎ、実験3と同様の手続で実験を行う。

実験5の群間差については、仮説を設けず不規則更新の影響を探索的に検証する。但し、実験3とは異なりグローバル・ランドマーク情報が得られないため課題の難度が高まり、実験3と比較して全般的に空間参照点配列の学習が進まないと予測する。

3.2 実験4：ローカル・ランドマークと不規則更新

3.2.1 方法

要因

探索課題中に参加者に提示した訪問順序の違いを参加者間要因とした。水準1は規則的更新群、水準2は不規則更新群であった。

実験参加者と分析対象者

早稲田大学で行われた学園祭来場者のうち、実験参加を希望し、かつ研究目的でのデータ使用を了解した18歳から30歳までの男女38名を対象に実験を行った。各群への参加者の振り分けは、1人目の男性（女性）は水準1、2人目の男性（女性）は水準2というように、各群の男女比が同一になるように行った。訪問時に順序を間違えた規則的更新群の男性1名、女性1名、不規則更新群の男性1名、女性2名は分析対象から除いた。参加人数が比較的少なかったため、群間の男女比調整は行わなかった。

分析対象者は規則的更新群17名（平均年齢21.3歳，男12女5）、不規則更新群16名（平均年齢21.44歳，男11女5）であった。

装置・材料

実験1, 2, 3で使用したディスプレイ, 及びアプリケーション類を使用した。実験3と同じ迷路の天井を布で塞いで使用した。カバーストーリーは実験2, 3と同じであった。迷路中央交差点の均等な位置に, 各通路の先にあるターゲットを示す標識(付録3)と, 足元照明を配置した(Figure 3.1参照)。標識の内容は, カバーストーリー上のキャラクターの住居の名前とイラストであった。

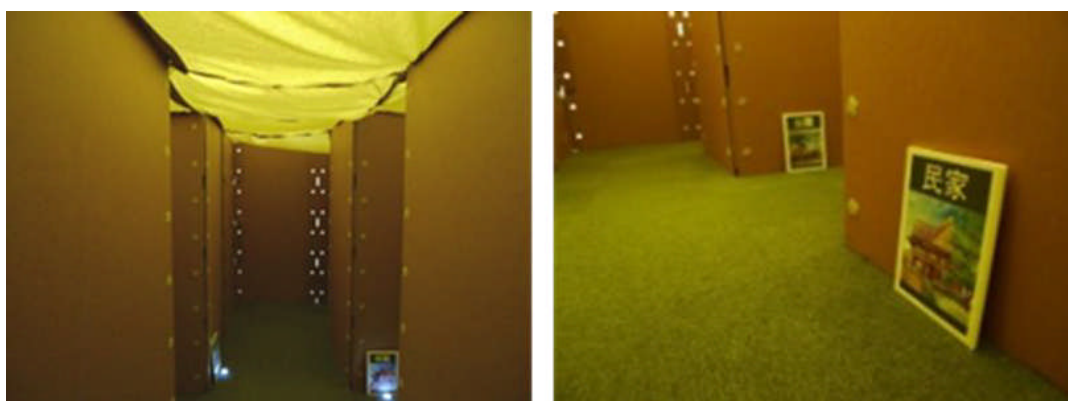
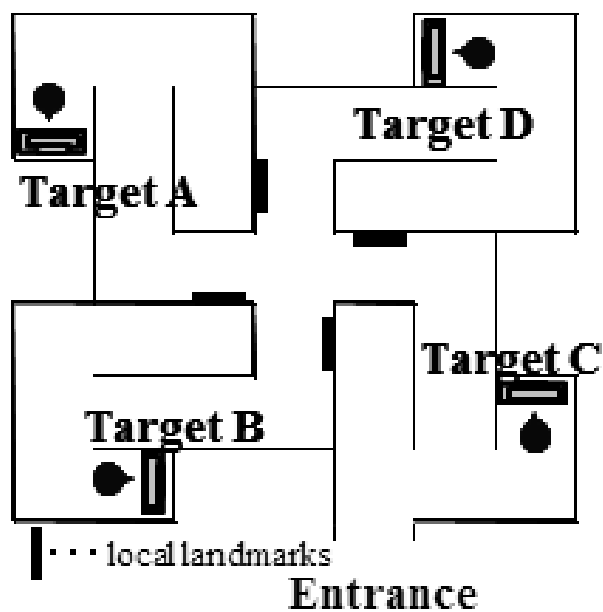


Figure 3.1 標識設置位置と迷路内観

訪問順序

実験2, 3と同様に, 6つの訪問順序(Table 2.1参照)のうち, 順序1と2を規則

的更新群に、順序3, 4, 5, 6を不規則更新群に均等に割りあてた。

手続

基本的な手続は実験3と同様であった。

3.2.2 結果

方向判断

各群の分布、角度平均、 v 値をFigure 3.2に示した。 V -testの結果、両群とも正解方向を中心に分布するとみなせた(規則的更新: $n = 204$, $u = 10.85$, $p < .001$, 不規則更新: $n = 192$, $u = 9.59$, $p < .001$)。両群の角度平均を比較するためにWatson-Williams testを行ったところ、有意差はなかった($F(1, 394) = .00$, $p > .05$)。両群の方向判断($n = 396$)の誤差の 1° 刻みの絶対値($0^\circ \sim 180^\circ$)を用いてWilcoxon-Mann-Whitney testを行った。その結果、規則的更新群、不規則更新群の分散に差はなかった($z = -.02$, $p > .05$)。

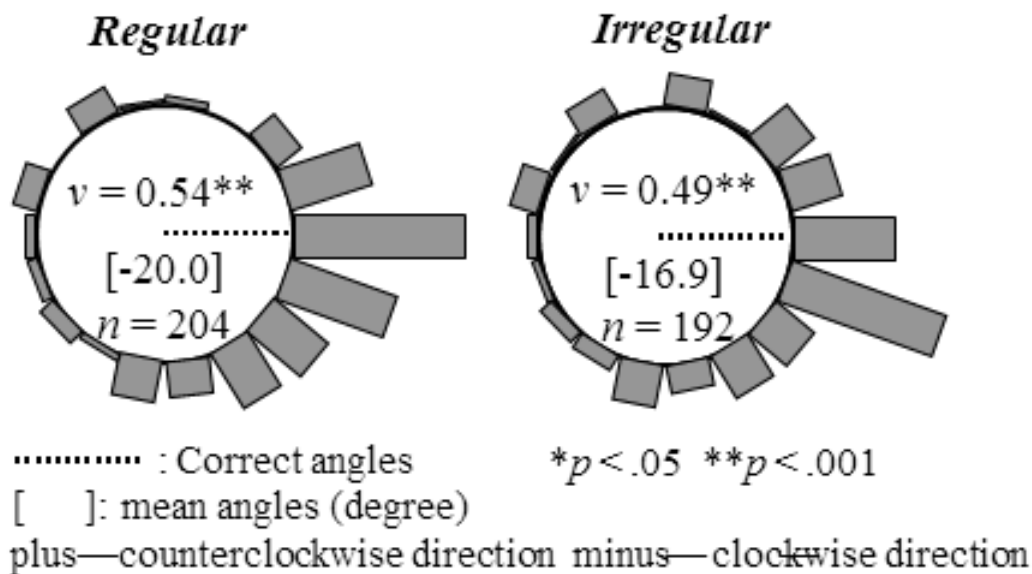


Figure 3.2 回答方向の度数分布

課題遂行時間

探索課題の総課題遂行時間は、規則的更新群269.23秒 (SD 12.04), 不規則更

新群276.67秒 (SD 18.13) であり, t 検定の結果群間に差はなかった ($t(36) = .33$, $p > .05$)。訪問順序 (群) を参加者間要因に, セクションを参加者内要因として2要因分散分析を行った結果, セクションの主効果のみが有意であった ($F(11, 341) = 51.92$, $p < .01$) (Figure 3.3参照)。参加者個人の ν 値と総課題遂行時間との間に有意な相関はみられなかった (規則的更新群: $r = -.10$, 不規則更新群: $r = -.41$)

探索課題の総遂行時間については, 実験3と4の結果を比較した。両実験の環境の違い (天井有・無) と, 更新パターンの違いによる2要因分散分析を行った結果, 交互作用, 各要因の効果はみられなかった。

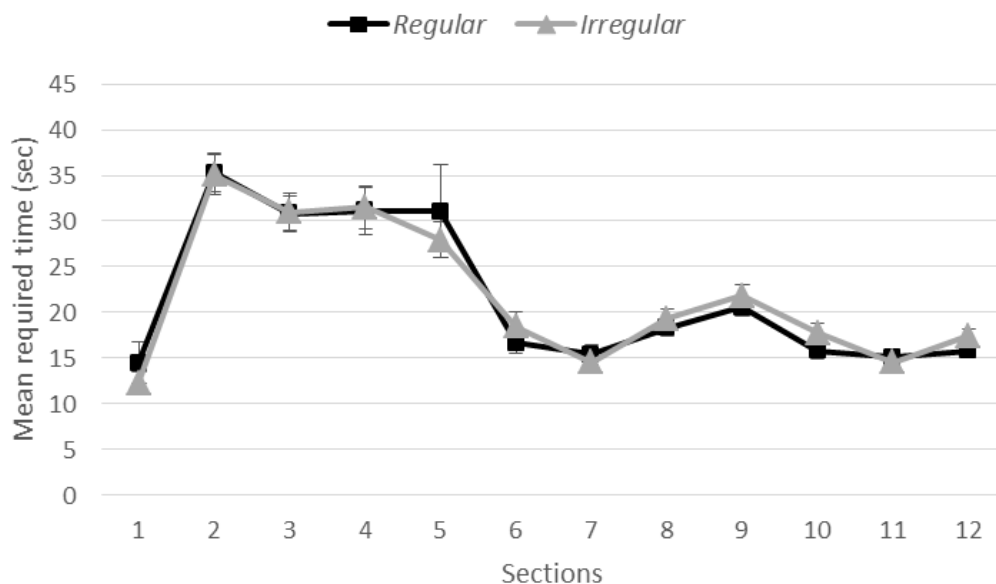


Figure 3.3 各セクションの課題遂行時間とSE

3.2.3 考察

本実験は, 実験3で観察された中央交差点における不規則更新の効果が, ローカル・ランドマークを手掛かりに行った場合にも観察できるか否かを検証するために行った。実験に際しては, 訪問順序要因の効果はなく, 規則的更新, 不規則更新どちらのパターンでも学習結果に差はないという仮説をたてた。従って, 両群の事後テストの方向判断の正確さに差はないと予測した。両群の方向判断結果を比較したところ, 群間に差はなく, 仮説を支持する結果が得られた。この結果

から、ローカル・ランドマークを手掛かりにした場合、不規則更新は参照点配列の学習を促進しないことが確かめられた。不規則更新の効果が観察できなかった理由については、他の実験結果を参照しながら3.4の総合考察で議論する。

課題遂行時間の分析では、総遂行時間、また各セクションにおいても群間の差はなかった。両群とも各参加者の r 値と遂行時間に有意な相関がなかったことから、迷路内にいた時間は空間学習には影響しなかったと考えられる。また、本実験と実験3の総遂行時間の比較から、ナビゲーションに利用したランドマークの違いは、課題実施に要する時間に影響を与えなかった。

3.3 実験5：移動軌跡情報による不規則更新

3.3.1 方法

要因

探索課題中に参加者に提示した訪問順序の違いを参加者間要因とした。水準1は規則的更新群、水準2は不規則更新群であった。

実験参加者と分析対象者

早稲田大学で行われた学園祭来場者のうち、実験参加を希望し、かつ研究目的でのデータ使用を了解した18歳から30歳までの男女37名を対象に実験を行った。各群への参加者の振り分けは、1人目の男性（女性）は水準1、2人目の男性（女性）は水準2というように、各群の男女比が同一になるように行った。訪問時に順序を間違えた規則的更新群の男性2名、不規則更新群の男性1名、女性1名は分析対象から除いた。参加人数が比較的少なかったため、群間の男女比調整は行わなかった。

分析対象者は規則的更新群16名（平均年齢20.6歳，男10女6）、不規則更新群17名（平均年齢20.9歳，男9女8）であった。

装置・材料

迷路中央交差点に標識を設置しなかった以外、装置、材料は実験4と同じであった。

訪問順序

実験2, 3と同様に, 6つの訪問順序 (Table 2.1参照) のうち, 順序1と2 を規則的更新群に, 順序3, 4, 5, 6を不規則更新群に均等に割りあてた。

手続

基本的な手続は実験3, 4と同様であった。

3.3.2 結果

方向判断

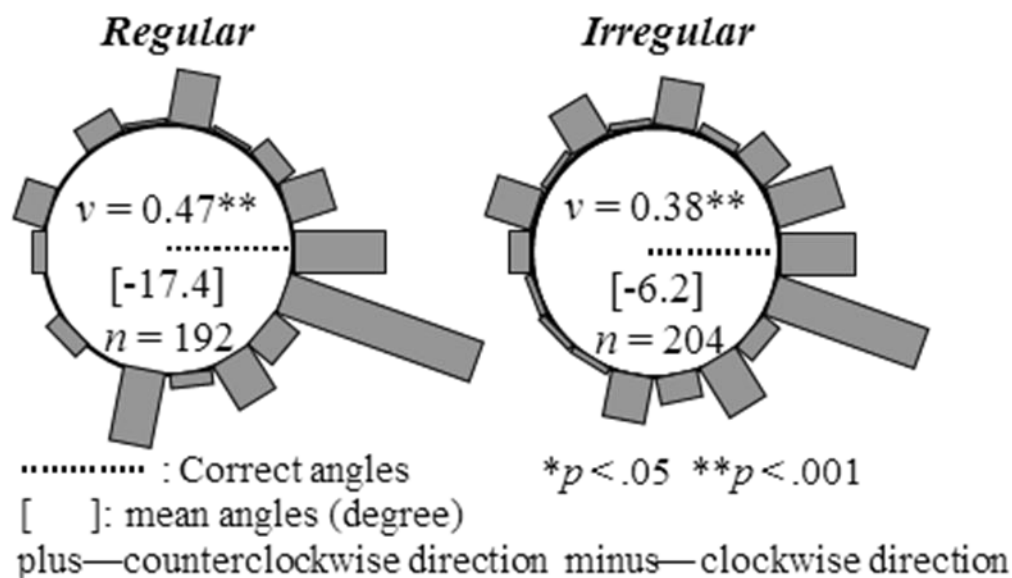


Figure 3.4 回答方向の度数分布

各群の分布, 角度平均, v 値をFigure 3.4に示した。 V -testの結果, 両群とも正解方向を中心に分布するとみなせた (規則的更新: $n = 192$, $u = 9.19$, $p < .001$, 不規則更新: $n = 204$, $u = 7.59$, $p < .001$)。両群の角度平均を比較するため Watson-Williams testを行ったところ, 有意差はなかった ($F(1, 394) = .05$, $p > .05$)。両群の方向判断 ($n = 396$) の誤差の 1° 刻みの絶対値 ($0^\circ \sim 180^\circ$) を用いて Wilcoxon-Mann-Whitney testを行った。その結果, 規則的更新群の分散が不規則更新群より小さかった ($z = 2.26$, $p < .05$)。

課題遂行時間

探索課題の総課題遂行時間は、規則的更新群297.60秒 (SD 16.53)、不規則更新群308.49秒 (SD 27.35) であり、 t 検定の結果群間に差はなかった ($t(36) = -.34$, $p > .05$)。訪問順序(群)を参加者間要因に、セクションを参加者内要因として2要因分散分析を行った結果、セクションの主効果のみが有意であった ($F(11, 341) = 6.18$, $p < .01$) (Figure 3.5参照)。参加者個人の v 値と総課題遂行時間の相関分析を行ったところ、規則的更新群には中程度の負の相関がみられた ($r = -.50$, $p < .05$)。対して、不規則更新群には有意な相関はみられなかった ($r = -.14$)。

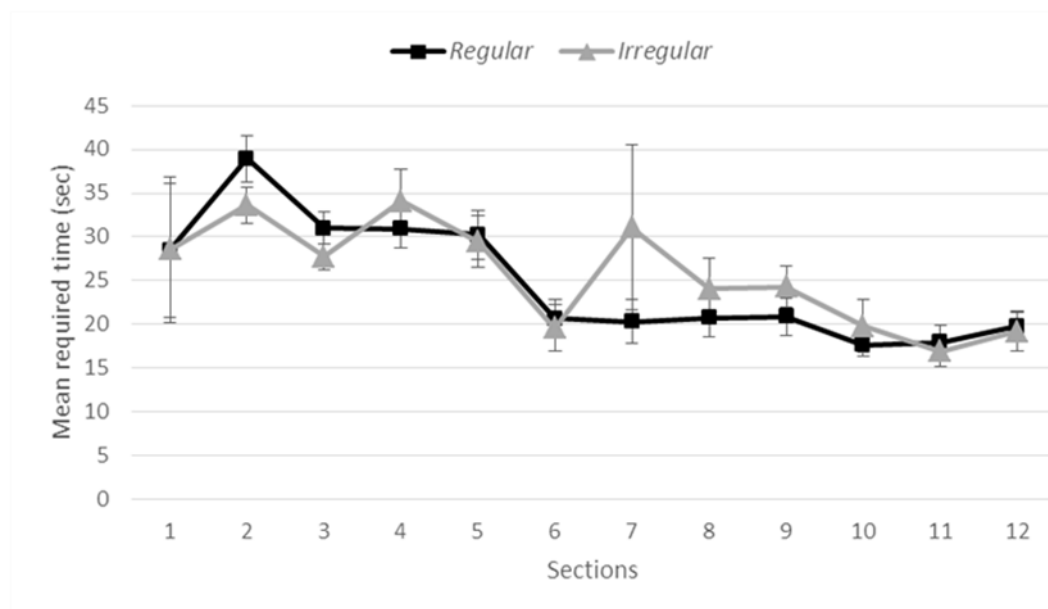


Figure 3.5 各セクションの課題遂行時間とSE

探索課題の遂行時間については、実験3と5の結果を比較した。両実験の環境の違い(天井有・無)と、更新パターンの違いをそれぞれ参加者間要因にして2要因分散分析を行った結果、環境要因の主効果のみが有意であった ($F(1, 67) = 5.72$, $p < .05$)。環境要因で有意差が認められたため、環境の違いを参加者間要因に、セクションを参加者内要因(各実験とも両群のデータをまとめて使用)にし、再度2要因分散分析を行った。その結果、交互作用はなく、環境 ($F(1, 69) = 5.92$, $p < .05$) とセクション ($F(11, 759) = 25.58$, $p < .01$) の主効果が有意であった。

3.3.3 考察

本実験では、実験3で観察された中央交差点における不規則更新の効果が、移動軌跡情報をベースにした場合でも観察できるか否かを探索的に検証した。課題遂行時間の分析では、総遂行時間、セクションごとの遂行時間とも群間に差はなかった。しかし方向判断の分析では、不規則更新群に比べ規則的更新群の方が正確であった。従って、実験3とは異なり、不規則更新が空間学習を阻害したとわかった。

更新パターンによる違いには仮説を設けなかったが、全般的な空間学習については、グローバル・ランドマーク情報が得られないため課題の難度が高まり、実験3と比較して全般的に空間参照点配列の偶発学習が進まないと予測した。統計的に差があるかは確認していないが、実験3と比べ両群の r 値が低いことから、実験5の条件下では学習が進まなかったと推測できる。本実験と実験3の全参加者の総遂行時間を比較したところ、本実験の方がより時間がかかっていた。どちらの実験でも、各セクションの遂行時間に群間差はないことから、どのセクションにおいても本実験の参加者の方が課題遂行に時間がかかっていたことになる。この遂行時間の違いは課題の難易度を反映していると考えられる。

本実験では、規則的更新群のみ、参加者の r 値と遂行時間に中程度の負の相関がみられた。これは、経路探索課題を早く終わらせたほど、事後テストの相対的方向判断が正確であった傾向を示す。対して、不規則更新群にその傾向はない。この違いは、課題を効率よく終えた参加者が、ターゲット間の位置関係をより把握できていたことを示す。

以上の考察については、他の実験結果と比較しながら3.4の総合考察でさらに議論する。

3.4 総合考察

本章では、空間推論に利用できる環境情報を変え、実験3で観察された不規則更新の効果を検証した。実験4は、ローカル・ランドマークを定位、更新の手掛かりに経路探索課題を行った。その結果、群間の方向判断の正確さに差がなかったことから、同実験の条件下では不規則更新は参照点配列の学習を促進しないことがわかった。実験5では、迷路外の景観の手掛かりを排除し、移動軌跡情報を

手掛かりに行う不規則更新パターンの学習促進効果を検証した結果、不規則更新が空間学習を阻害するとわかった。総合考察ではそれぞれの結果を、他の実験と比較しながら議論する。実験1, 2, 3, 4, 5の主要な結果をTable. 3.1に示した。

Table 3.1 実験条件と主要な結果一覧

実験	迷路形状	経路プラン	更新	迷路天井	定位・更新の手掛かりとなるランドマーク	ν 値	群別の総遂行時間(sec)	全参加者の総遂行時間(sec)	n
1	1	分離 複合	—	なし	グローバル ランドマーク	0.57	208.93	218.18	25
			—			0.71			
2	1	複合 複合	規則的	なし	グローバル ランドマーク	0.70	243.63	254.59	20
			不規則			0.65	265.54		20
3	2	複合 複合	規則的	なし	グローバル ランドマーク	0.68	260.21	261.00	19
			不規則			0.79			261.78
4	2	複合 複合	規則的	あり	ローカル ランドマーク	0.54	269.23	272.95	17
			不規則			0.49	276.67		16
5	2	複合 複合	規則的	あり	ランドマークなし	0.47	297.60	303.05	16
			不規則			0.38	308.49		17

* $p < .05$ ** $p < .01$

※全参加者の総遂行時間の比較のための検定は実験と3のみ実施

3.4.1 ローカル・ランドマークの影響

統計的に比較していないため断言はできないが、実験4の参加者の方向判断の正確さを示す両群の ν 値は、実験3より低く、ローカル・ランドマークを手掛かりに課題を行ったことにより、どちらの群においても参照点配列の学習が進まなかったと推測できる。この理由は、経路プラン作成時、遂行時の各段階において、実験4では空間推論の必要性が低かったためだと考えられる。なぜなら、自由探索フェイズにおいて、参加者は既に中央交差点の標識を見ており、標識の通りに通路を選べば各ターゲットに行けるとわかっていたからである。従って、訪問フェイズでターゲットを訪問するときも、通路を選択するために中央交差点でター

ゲット方向を推測する必要がなかった。

まず、複合型プランの効果がなかった理由を考えたい。実験3と同様に、参加者は訪問の起点となるターゲットで3つの訪問先を提示されている。しかし、標識に従えば訪問が可能だと認識し、経路プラン作成時にターゲットの方向推測を行わず、訪問順序を中心に覚えていたために複合型プランの効果がなかったと考えられる。

経路プラン遂行段階でも、ローカル・ランドマークを提示したことにより、参加者は中央交差点でターゲット方向を考える必要がなかった。この環境条件では、実験3の規則的更新と同様に、Trullier et al. (1997) のモデルにおける Place recognition-triggered Response のように、目的地と1回1回の行動の連なりを分かっていたら訪問が可能となる。従って、Metric navigation 方略はもちろん、Topological navigation 方略も必要なかったことから、参照点配列の学習が進まなかったと解釈できる。この結果は、空間参照点間の計量的関係を推測せず、ローカル・ランドマークの連なりだけを指標とした経路探索では空間学習が進まない傾向として一般化できるのではないだろうか。

3.4.2 移動軌跡情報の影響

実験5の結果、実験3とは反対に移動軌跡情報による不規則更新の方が規則的更新より空間学習が進まなかった。また、更新パターンに関わらず実験3より課題遂行に時間がかかったことから、移動軌跡情報のみによる経路探索課題の遂行は参加者にとって負荷が大きかったと推測できた。実験5の参加者の方向判断の正確さを示す両群の r 値は、どちらの更新パターンでも、同じ迷路形状を用いた実験3より低い傾向であった (Table. 3.1)。総合考察では、他の実験と比較しながら、自由探索フェイズから訪問フェイズ、さらに事後テストの回答時までの各段階で、移動軌跡情報が参照点配列の学習を阻害した理由を考察する。合わせて、不規則更新に比べて規則的更新の方が正確な方向判断を行えた理由についても考察する。

自由探索フェイズにおいては、迷路内を回遊していた参加者のターゲットの位置学習が実験3に比べて進まず、有効な経路プランを作成できなかったことが課題全体を通じた学習を阻害した理由として挙げられる。まず、移動軌跡情報とグローバル・ランドマークによる、自由探索フェイズ中の空間学習の違いを推測し、実験5でターゲットの位置学習が進まなかった理由を考えたい。実験3と同様に、

自由探索フェイズ中、参加者が訪問フェイズに備えて中央交差点から4方向に延びる通路を意識的にターゲットと結びつけて覚え、訪問フェイズでその記憶をもとに進行方向を決めたとは考え難い。しかし、実験3、5ともに自由探索フェイズでは「全てのターゲットをみつける」というゲームのルールがあったため、どちらの実験の参加者も中央交差点で、既に行ったターゲットに通じる通路がどれで、まだ行っていない通路はどれかを考えたはずである。その際、視認可能なランドマークがあれば優先して利用される (Foo et al., 2005) ことから、実験3ではグローバル・ランドマークが手掛かりとして利用された。例えば、迷路内から見える遮光カーテンや壁から、どちらが窓側、廊下側かわかったことで、参加者は4つのターゲットを教室の構造と結びつけてまだ訪問していない通路を選べた。同時に、ターゲット位置も教室の構造と結びつけて把握できた。しかし、実験5の参加者は、既に見つけた他のターゲットを推測するために移動軌跡情報を検索せざるを得なかった。この差が、自由探索フェイズにおけるターゲット位置学習の差につながったのではないだろうか。訪問フェイズで経路プランを作成するベースとなるのは、それまでに獲得した移動空間の知識である。従って、実験5では、参加者は実験3に比べて乏しい既存知識をもとに、経路プランを作成していたことになる。実験5の両群の r 値は、実験1の分離型プランより低かったことから、この実験条件では複合型プランの学習促進効果もなかったと推測できる。

実験5の参加者は、有効な経路プランが作成できなかつたことにより、訪問フェイズも効率的に行えなかつたと考えられる。本実験では、12セクションに分けた迷路探索課題のどの段階でも、実験3より課題遂行に時間がかかっている。この結果は、どちらの群の参加者も、中央交差点で指定されたターゲットに通じる通路の選択が困難だったことを示す。実験3の迷路内移動分析では、ディスプレイの前で訪問順序を間違えたことに気づき引き返す行動が観察された。本実験では移動分析は行っていないが、課題遂行に時間がかかっていることから、訪問フェイズ中に訪問先を間違え引き返す行動がさらに多かつたのではないだろうか。

経路プラン作成やその実行に利用する既存知識が得られにくかつたことは、通路選択のために方向推測が必要な不規則更新群にとって不利である。訪問フェイズの1巡目では、どちらの群も進行方向を決めるために、自由探索フェイズで「どの通路を進むとどのターゲットがあつたか」についての移動軌跡情報、つまりその経路をたどった記憶の検索に苦労したはずである。しかし一方の規則的更新は、1巡目に中央交差点で右折か左折を繰り返す、2巡目では、1巡目と反対方向に曲がり続ける単純で覚えやすい経路であつた。この規則性に気づいた参加者は、比

較的容易にターゲットを訪問でき、同時にそれらの位置も把握しやすかったと言える。対して不規則更新では、2回の訪問どちらとも、右左折と直進を行っており、選択した進行方向の順序はターゲット位置を把握する手掛かりになり難かった。このことが、不規則更新の学習が進まなかった理由だと考えられる。

訪問フェイズにおける中央交差点での方向推測及び経路選択の規則性の有無は、事後テストに回答するための参照点配列の表象にも影響を与えたと考えられる。実験5の参加者は実験3に比べ空間学習が進んでいなかったとすれば、事後テストの際、ターゲット位置を参照点配列として表象するために、訪問順序の記憶も手掛かりにしたと考えられる。その際、中央交差点で右左折を続ける規則性がある規則的更新の方が、後に自分の行動を時系列で辿ることが容易である。例えば、迷路の四隅に訪問順序通りに左回りか右回りでターゲットを並べていけば、ターゲット配列を思い浮かべやすい。規則的更新群のみで、参加者の r 値と遂行時間に中程度の負の相関がみられたのは、中央交差点での進行方向の規則性に気づき効率よく移動を行った参加者が、事後テストの回答時に訪問順序の記憶を手掛かりにしやすかったことを示す可能性もある。対して不規則更新では、1巡の訪問において、中央交差点で右折、左折、直進を行っているため、行動の時系列の想起が比較的困難である。以上のように、経路探索中の空間学習だけでなく、事後テストの回答のための表象操作においても不規則更新は不利であったことから、規則的更新に比べて方向判断が不正確になったと考えられる。

最後に、実験3、4、5の結果から、日常生活における移動軌跡情報の役割について考察したい。実験3に比べ、実験4、5では方向判断が不正確になったことから、本実験で用いた中規模空間で、移動軌跡情報を用いて探索空間の空間参照点配列を正確に把握するのは難しかったと言えよう。現実空間においても、同じような建物が狭い道沿いに密集する場所（ベネチアやマラケシュ等古くからある都市の住宅地や商業地区等）では、経路探索は比較的困難で、主要地点の位置関係の把握も難しい。しかし、実験5の規則的更新パターンで比較的学習が進んだように、移動軌跡が覚えやすく、かつ移動軌跡情報と参照点位置との関係を結びつけやすい条件であれば、経路探索中もしくは探索終了後に参照点どうしの位置関係は比較的容易に把握できると言えよう。

都市圏や建物内ではグローバル・ランドマークが利用できないことも珍しくない。その場合、移動軌跡を思い出して位置関係を更新することもあるだろう。例えば、1、2回の方向転換からなる比較的単純な移動であれば、途中の意思決定地点で、出発地点からの移動軌跡をまとめて思い浮かべて目的地の方向変化を計算

し、進行方向を選択することも可能である。このように、比較的単純な2地点間の関係を把握するのであれば、移動軌跡情報は十分に手掛かりとなると考えられる。

第4章

参照点配列の違いが空間学習に与える影響

4.1 問題と目的

第2章，2.4.2「不規則更新の空間学習促進機序」において，実験3で不規則更新群の参加者が，規則的更新群の参加者と異なる参照点配列を学習した可能性に言及した。経路探索ではナビゲーション上重要な地点も参照点として認識される（Gärling et al., 1984）。訪問フェイズ中，中央交差点でより注意深い更新を促された実験3の不規則更新群の参加者は，規則的更新群と比較して中央交差点を経路探索の成否を左右するより重要な意思決定地点と捉えた可能性がある。もし，更新パターンにより異なる参照点配列を学習していたとすれば，参照点配列の構造の違いが，空間学習を副次的に促進した可能性も考えられる。具体的な参照点配列の違いは以下の通りである。中央交差点を参照点と認識していた場合，その配列はサイコロの5の目のようになる（Figure 4.1の右図）。対して，ターゲットのみを参照点と認識した場合は，サイコロの4の目のようになる（Figure 4.1の左図）。実験3での規則的更新の学習促進効果に，認識した参照点配列の違いが反映されているならば，Figure 4.1の右図のように，中央に参照点があったことにより空間学習が促進されたことになる。

小～中規模空間の学習においては，ターゲット配列の構造が空間記憶の再生に影響を与えることが知られている（Mou & McNamara, 2002; Mou, Zhao, & McNamara 2007）。Mou & McNamara (2002) では，実験参加者は静止して任意の方向から複数のターゲットを見て位置を学習し，その後，学習した方向から見た場合に加え，他の方向から見たと想像して，それぞれのターゲットの位置関

係を判断した。この実験パラダイムは、中規模空間の学習と自己中心参照枠との関係を扱った研究で用いられている (e.g., Easton & Sholl, 1995; McNamara, 1986; Rieser, 1989; Rieser et al., 1986; Roskos-Ewoldsen, et al., 1998; Sholl & Nolin, 1997)。多くの場合、学習時の身体方向を想定した方が方向判断がし易いが、Mou & McNamaraでは、他の方向から見たと想像した場合の成績が良かった。この理由はターゲット配列の特徴にある。自己中心参照枠で配列を覚えた場合、本来身体正面の縦方向の軸に沿った方向判断が最も正確に行えるが、同実験では、斜め方向の軸を持つ配列自体の特徴が参照枠 (intrinsic frames of reference) となり、自己中心参照枠より優先された。

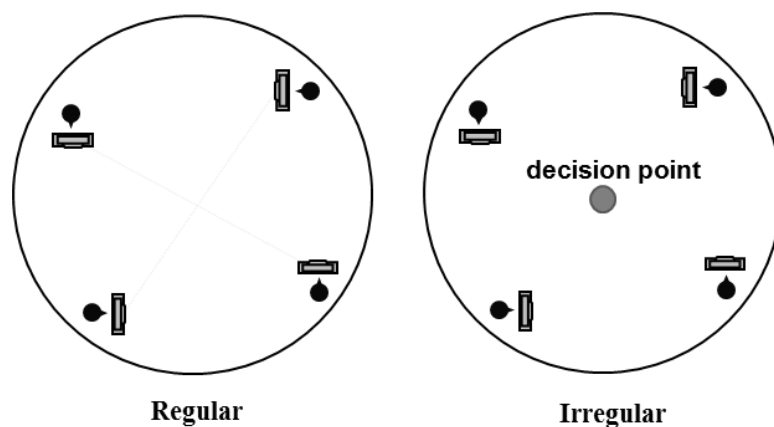


Figure 4.1 更新パターン別参照点認識の仮説

Mou & McNamara (2002) で扱われたのは、自己中心参照枠とターゲット配列の参照枠との競合の問題だと考えられる。人間の方向認識には何らかの基準が必要であり、身体正面方向を重視し座標系の軸にする場合もあれば、対象が持つ構造が重要になる場合もある。実験3で示唆された参照点の配列構造の違いは、Mou & McNamaraのような参照枠の問題ではない。実験3では、参加者は空間内を回遊し複数方向から空間を学習したため、特定の方向から静止して学習したときのような自己中心参照枠とターゲット配列構造の単純な競合は生じない。その一方、空間内を回遊して学習する状況下で、参照点配列構造の違いと空間学習の関係を扱った研究は限られている。

本章の実験の目的は、実験3と同様に空間を回遊して学習した、身体方位に依存しない空間表象における、参照点配列の学習促進効果を確認することである。実空間では、環境自体が持つ参照枠 (迷路の外周構造の四角形等) の完全な排除が困難なため、実験6では他に環境の手掛かりがないPC画面上の中規模なVR

(virtual reality) 空間に提示したターゲット配列を学習対象とした。VR空間には、実験3で推察された2種類の参照点配列に合わせてターゲットを配置した。実験では、VR空間での擬似的なウォークスルーによる参照点配列の学習結果を、事後テストの相対的方向判断を指標に比較することで、学習時のターゲット配列の違いが空間学習に与える影響を検証した。もし、中央に加わった参照点が空間学習を促進させるのであれば、Figure 4.1の右図を模した空間で学習を行った方が、同左図の空間より事後テストの方向判断で参照点どうしの位置判断を正確に行えるはずである。

4.2 実験6：参照点構造比較

4.2.1 方法

要因

探索空間に配置したターゲット配列の違いを参加者間要因とした。水準1は、Square配列を提示したSquare群であった。水準2は、中央参照点となるノード・ターゲットを加えたCentral Node配列を提示したCentral Node群であった (Figure 4.2参照)。

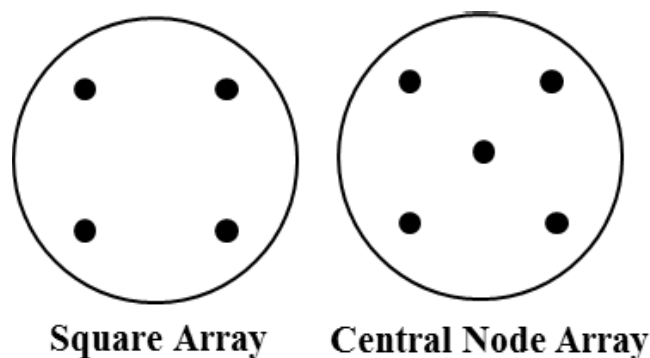


Figure 4.2 ターゲット配列

実験参加者と分析対象者

参加者は、早稲田大学に通う大学生、大学院生48名（男性24名、女性24名）であった。参加順の振り分けは、1人目の男性（女性）は水準1、2人目の男性（女性）は水準2というように、各群の男女比が同一になるように行った。参加者は

全員正常の視覚を持つ健常者であった。事後テストで行ったスケッチマップによるターゲット再生課題の結果、ターゲット位置配置でエラーがあった各群3名（いずれも男性1名、女性2名）を分析対象から除いた。

分析対象者は各群21名、合計42名（平均年齢：Square群22.5歳、Central Node群21.0歳）で、男女構成は両群とも男性11、女性10名であった。

学習空間とターゲット配列

建築用CADソフトShadeドリームハウス2.0.3を使用し、直径12m相当の円形VR空間を制作した（Figure 4.2参照）。使用した共通ターゲット（自転車、椅子、ステレオ、傘立）は両条件ともに同じであった。ウォークスルーの画像を提供するアプリケーションのカメラは、VR空間の床から高さ150cm、視角80°に設定した。

Square 群では4つの共通ターゲット（以下ターゲット）を四隅に配置し、Central Node群ではターゲットに加え、空間中央にノード・ターゲット（植木）を配置した。各ターゲットの後ろには縁石状の物体を配し、ターゲットの正面の手掛かりとした（Figure 4.3）。ターゲットの位置の全組み合わせで6パターンの空間を作成し、各条件の男女各12名につき2名に同一パターンの空間を使用した。

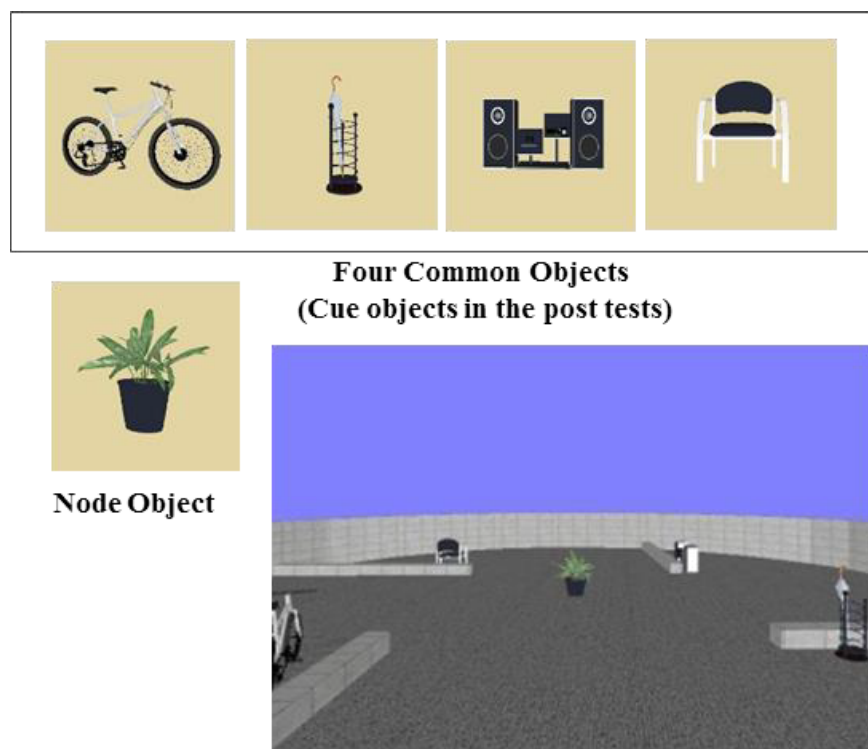


Figure 4.3 学習空間と使用ターゲット

装置・材料

VR空間の提示には、14インチディスプレイ（横幅：30.94cm，縦幅：17.42cm）及びデスクトップパソコンを使用した。ウォークスルーの操作，事後テストの反応を測定するためにキーボードを使用した。

学習用VR空間の他に，Shadeドリームハウス2.0.3を使用して練習課題用円形VR空間（直径約5m）を作成した。練習問題用プログラム，事後テスト出題のために，SuperLab4.5を使用して2種類のプログラムを作成した。その他に，画面録画用アプリケーション，スケッチマップ課題用円形用紙（直径約15cm），筆記用具を使用した。

事後テスト1

各ターゲットを正面に見ている状態から見た，他のターゲットの方向を7方向から選択させた（Figure 4.4）。事後テスト1では，方向判断の起点となるターゲットの前にいるときの見えを示す風景画像が2500msec表示され，注視点（500msec）に続いて方向判断を行う他のターゲットの画像が表示された。参加者には，方向判断の起点となるターゲットを正面に見ている状態から見た，他のターゲットの方向を回答するよう求めた。参加者は方向の回答として，反応キー（Figure 4.5）の7つの矢印の中から正解方向を選んだ。その後，500msec後に次の問題が提示された。一回のトライアルにつき，4つのターゲットから見た3つのターゲット方向，計12回をランダムに提示した。参加者は2回のトライアルを通じ，計24回の方向判断を行った。

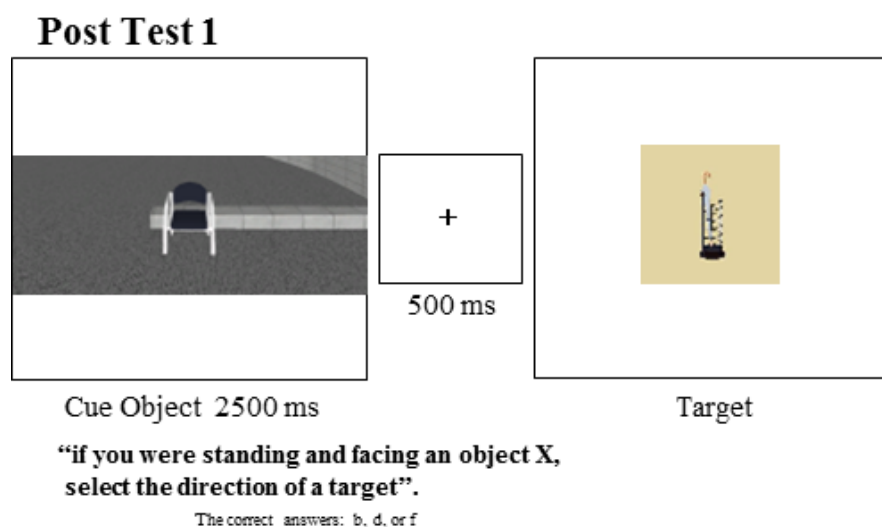


Figure 4.4 事後テスト1

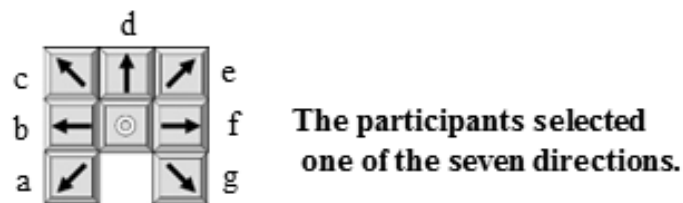


Figure 4.5 反応キーのイメージ

判断方法：中央の◎の位置に、d方向を向いて立っているとして、
ターゲットの方向をa～gから選択

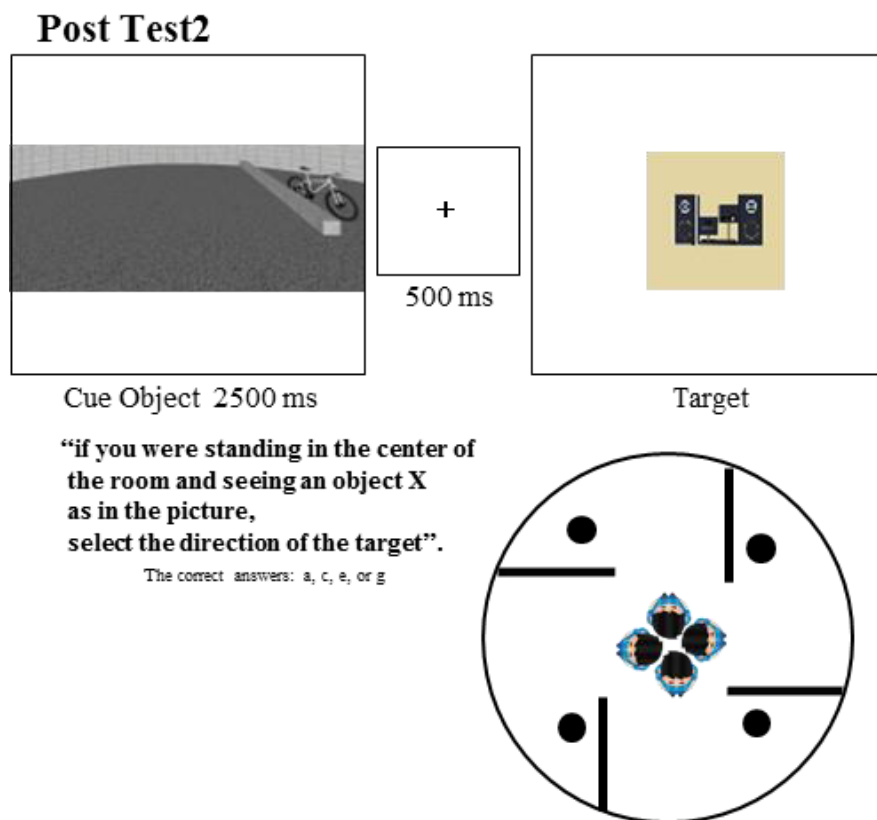


Figure 4.6 事後テスト2

事後テスト2

空間中央に立っている状態から見たターゲットの方向を、7方向から選択させた (Figure 4.6)。事後テスト2では、空間中央からの見えを示す風景画像が2500ms表示された。風景画像は、空間中央で立っていると想定した4つの向き (Figure 4.6) のいずれかから見た光景であった。風景画像には、その向きからみて視界に入る

ターゲット2つのうち1つを定位の手掛かりとして配置した。風景画像に続いて注視点（500msec）が提示された後、方向判断を行う他のターゲットの画像が表示された。参加者には、空間の中央で立っていると想定し、風景画像に配置されたターゲットを手掛かりに正対する方向を考え、その向きから見た他のターゲットの方向を回答するよう求めた。回答方法は事後テスト1と同様であった。参加者の方向判断の後、500msec後に次の問題が提示された。参加者は、異なるターゲットを手掛かりに、同じ向きを2回、それぞれにつき3つのターゲットへの6回の方向判断を行った。一回のトライアルにつき合計24回の方向判断問題をランダムに提示した。参加者は2回のトライアルを通じ、計48回の方向判断を行った。

手続

実験は参加者ごとに個別に行われた。実験に先立ち、実験内容の説明として、ターゲット名と位置、及びターゲットどうしの位置関係を覚えた後、方向判断の課題を行うことを参加者に伝えた。続いて、参加者は練習用VR空間（ターゲット2つが置かれた直径5m円形空間）で自由探索（1分間）を行い、ウォークスルー操作を練習した。ウォークスルーによる移動は、キーボードの上、左、右の3つの矢印キーを押下することで行った。矢印キーのうち下向きの矢印（前を向いたまま後退する画像）は使用禁止とした。後ろに戻る際は、左右の矢印で向きを変えて前進するよう参加者に伝えた。ウォークスルーの練習後、練習空間のターゲットを使って事後テスト1と同様な方向判断を4回行った。

練習終了後、参加者はSquare群、Central Node群のいずれかの空間で自由探索を4分間行い、ターゲットの位置関係を学習した。自由探索の開始地点はランダムに選ばれたターゲットを正面に見る位置であった。自由探索開始後、参加者はまず全てのターゲットを正面に見る位置に移動し、その後は自由に空間内を回遊した。各参加者の自由探索中の回遊軌跡を、画面録画アプリケーションにて記録した。自由探索課題の後、事後テスト1、事後テスト2を続けて行った。事後テスト終了後、参加者は学習空間のスケッチマップ課題（ターゲット名をそれぞれの位置に書き、縁石の位置を示す）を行った。実験時間は全体で約40分程であった。

4.2.2 結果

方向判断正答率

スケッチマップテストの不正解者を除いた参加者のデータを、群ごとにまとめ

た。事後テスト1の正答率を角変換し、両群の平均正答率 (Square群.62, Central Node群.83) をt検定により比較した結果, Central Node群の方がSquare群より高かった ($t(40) = 2.24, p < .05$)。事後テスト2についても同様の手続で両群の平均正答率 (Square群.63, Central Node群.87) を比較した結果, Central Node群の方がSquare群より高かった ($t(40) = 4.17, p < .01$)。各事後テストの正答率平均をFigure 4.7に示した。

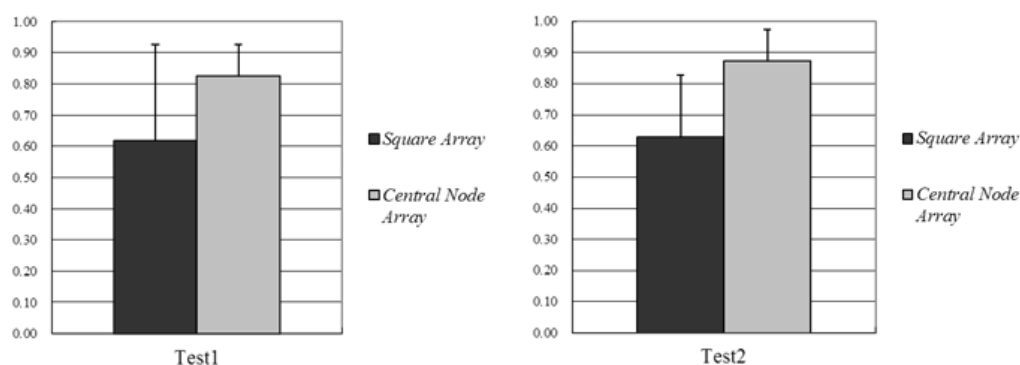


Figure 4.7 平均正答率とSE (chance level: .143)

反応時間

事後テスト1, 事後テスト2の両群の平均反応時間をt検定により比較した結果, 有意な差はなかった (Test1: $t(40) = -1.09, p > .05$, Test2: $t(40) = -1.18, p > .05$) (Table 4.1)。

Table 4.1 反応時間平均 msec (SD)

	Square Array	Central Node Array
Test1	3,349(1,877)	2,758(1,617)
Test2	2,622(1,279)	2,530(1,952)

回遊軌跡

技術的問題で画面録画できなかつたSquare群の2名を除き, 参加者の自由探索中のウォークスルーの軌跡を分析した。分析にあたり, 空間内を5つのゾーンに分割した (Figure 4.8)。スタート地点から実験者の指示により他のターゲットを正面に見る位置に移動した後, どちらの群においても, ゾーン間を短時間の滞留で移動し続けた参加者, 1カ所のゾーンに比較的長く滞留し空間全体を見渡していた参加者が混在した。各群のゾーン間移動回数と, 中央ゾーンでの10秒以上の滞留回数をTable 4.2に示した。



Figure 4.8 軌跡分析時のゾーン分割

Table 4.2 各群のゾーン移動回数と中央ゾーン滞留回数 (*SD*)

	zone migration	staying at center
Square	6.58 (2.29) <i>n</i> =19	1.05 (0.91) <i>n</i> =19
Central	5.90 (2.14) <i>n</i> =21	0.52 (0.58) <i>n</i> =21

4.2.3 考察

本研究の目的は、参照点配列構造の違いによる学習促進効果を確認することであった。実験に際しては、中央の空間参照点が空間学習を促進するという仮説をたてた。従って、**Central Node**群の方が**Square**群より事後テストでの方向判断が正確だと予測した。その結果、事後テスト1, 2とも、**Central Node**群の方が**Square**群より平均正答率が高く、仮説を支持する結果が得られた。

各事後テスト内容を振り返りながら、ノード・ターゲットが空間学習を促進した理由を考察していく。順番は前後するが、まず事後テスト2の結果から考えたい。事後テスト2では、**Central Node**群の参加者の方が**Square**群より正確に方向判断を行えた。このテストは、室内中央に立っている状態を想定し、ターゲットの1つを提示することで向いている方向の手掛かりとし、他のターゲットの方向を判断させる課題であった。この課題での判断の正確さの差は、練習課題で事後テスト1を行ったことと関連し、**Central Node**群の参加者がノード・ターゲットと他のターゲットの位置関係を意識的に覚えたことによると考えられる。実験に先立ち行われた練習では、回答方法の確認のため事後テスト1と同様の練習問題

を行っており、参加者にも実験で行われる質問だと伝えていた。事後テスト1は、ターゲットを正面に見ている状態から見た他のターゲットの方向判断であった。そのため、練習問題を行っていた**Central Node**群の参加者は、自由探索中にターゲット間の関係だけでなく、ノード・ターゲットから見たターゲットの位置関係も意識的に覚えようとしたと考えられる。自由探索中の回遊軌跡記録から、**Central Node**群の参加者の方が、空間中央ゾーンに多く滞在する傾向がうかがえた。従って、事後テスト2で方向判断の正確さに差が生じたのは、自由探索中に**Central Node**群の参加者が、意識的に空間中央から見たターゲット配置を学習した結果だと考えられる。

事後テスト2と異なり、事後テスト1は、各ターゲットの正面に立った状態から見た他のターゲットの方向判断であり、中央のノード・ターゲットとの位置関係は聞いていない。判断に必要なターゲットは、両条件ともに全く同じに配置されていた。実験1, 2, 3, 4, 5と異なり、本実験では練習問題で事後テスト1を行ったことにより、両群とも自由探索中に各ターゲットから見た他のターゲットの方向を意識的に覚えたはずである。このような条件下で判断の正確さに差が出たことから、ターゲットだけでなく、ノード・ターゲットも含めて覚えた方がターゲットどうしの位置関係の学習が促進されたと推測できる。

ノード・ターゲットを含めた**Central Node**配列の方が、**Square**配列より学習が進んだ理由として、空間参照点配列の違いにより、両群の参加者が空間学習中に意識した方向の構成が異なることが挙げられる。擬似的なVR空間のウォークスルーではあるものの、自由探索中の参加者は自己中心参照枠に準拠した視覚情報により空間を学習していた。空間学習中、参加者は事後テストに備えて、ターゲットの前にいる自分を起点に、他のターゲットの方向をパスのように考えていたのではないだろうか。**Trullier et al. (1997)** は、**Topological navigation** 方略と関連し、位相的な目的地の関係を数学のグラフ理論になぞらえ、目的地をノード、それらをつなぐ経路をパスと考えた。この考え方に従えば、配列構造の違いは、ノード間を結ぶパスの多様性の違いとなる。

ターゲットのみを参照点とした場合、それらをつなぐパスはどちらの配列も6本ある。但し、**Central Node**群の参加者がノード・ターゲットも方向判断の起点となる可能性があると考えていたとすると、ノード・ターゲットからターゲットの方向も意識したはずである。その場合、ターゲットを結ぶ対角線のパスがノード・ターゲットにより分節されることになる。パスが分節されることで、**Central Node**配列の方が**Square**配列より、各参照点の関係の記述が多様に行える。例え

ば、Figure 4.9の参照点AとBの関係を考えると、Square配列では、位置関係の手掛かりとして使えるのは両点を結ぶパスが1つである。対して、Central Node配列では、中央の参照点を経由した2本のパスを用いても、位置関係を考える手掛かりになる。この方向推測の多様性が、Central Node群の事後テスト1での判断結果の違いにつながったのではないだろうか。この実験で使用した参照点配列において、ノード・ターゲットによりパスが分節化し、ノード間の記述が多様となり、空間学習や方向判断時の表象に影響を与えることを、本研究では分節化仮説とする。

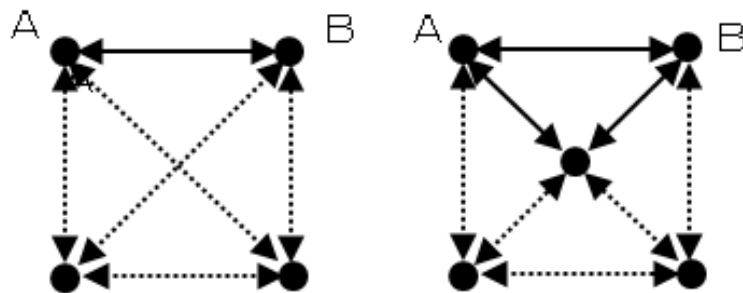


Figure 4.9 参照点配列によるパスの違い

事後テストでの方向判断の過程では、実験1, 2, 3, 4, 5と同様に、参加者は環境中心参照枠に置き直した参照点配列の表象も用いていたと考えられる。基本的に、ターゲットどうしの位置関係はどちらの参照枠でも認識可能であり、環境中心参照枠を用いなくとも、どちらの事後テストも回答可能である。しかし、各ターゲットを正面に見る位置にいたときの状況ごとに、自己中心参照枠のみで他のターゲットの方向を記録するのは非常に効率が悪い。参加者の多くは、環境中心参照枠による客観的なターゲット配列の表象も使い、問題ごとに自分の位置と方向を想起し、方向判断を行っていたのであろう。従って実験3と同様に、Central Node群が形成した空間知識の方が、参照枠の切り替えや、定位の想定等、操作しやすい状態であったと推測できる。第2章、2.4.3「方向判断課題で観察された空間知識の違い」で述べたように、このような操作しやすい表象は、空間知識がより精緻化することで可能となると考えられる。

実験3で観察された不規則更新の学習効果の原因としては、同実験の参加者が迷路の中央交差点も参照点と認識したことで、規則的更新群とは異なる参照点配列を学習した可能性があった。具体的には、規則的更新群では本実験のSquare配列と類似したターゲット4つから構成される参照点配列が、不規則更新群では

本実験のCentral Node配列と類似したターゲット4つにノード・ターゲットを加えた配列が認識された可能性があった。本実験では、空間参照点配列の違いを要因に検証を行った結果、参照点構造の違いが空間学習に影響を与えることが確かめられた。但し、実空間で学習を行った実験3と、VR空間を利用した本実験では学習に用いた環境が異なる他、偶発学習と意図的学習の違い等、手続上の相違点が多い。従って、実験3と同様な環境下でも、配列の構造の違いが空間学習を副次的に促進すると結論付けるためにはさらなる検討が必要である。

第5章

総論と展望

5.1 本研究のまとめ

5.1.1 各章の概要

第1章

本研究が扱った経路探索中の空間推論,ナビゲーション,空間学習等について,関連する先行研究を概観しながら,基礎となる理論を挙げ,目的と仮説を述べた。本研究では,新奇空間での経路探索を通じた空間推論を,空間学習の違いを生む要因として位置づけた。空間学習の基礎となる各段階の空間推論は,経路プラン作成とその実行時に自己中心参照枠で認識する移動者の定位,更新による方向推測と仮定した。また学習対象は,出発地,目的地等の空間参照点どうしの計量的な位置関係,すなわち参照点配列とした。

経路探索の初めに行われる経路プラン作成では,移動者は既存知識から目的地の位置を想起し,現在地から目的地への方向を推測する。新奇空間において,空間参照点の位置関係を十分に認識していない場合,その方向推測を通じて既存知識が変容すると考えられる。従って,経路プラン作成時の空間推論が異なれば,形成される空間知識も異なってくる。実験1では,1度に推測する目的地の数の違いが,空間参照点配列の学習に与える影響を検証した。具体的には,出発地点で全部の目的地と訪問順序をまとめて示され,複数の目的地の位置関係を包括的に推測し経路プランを作成した方が,次の目的地までの経路プランを1回1回分離して作成しながら訪問するより参照点配列の学習が進むと予測した。

経路プランの実行時には,移動者は経路上で必要に応じて目的地の方向を推測し,現在位置と目的地の位置関係を更新し,経路の選択や経路プランの修正を行う必要がある。新奇空間で経路探索が行われる場合,経路上での更新も個別の空

間参照点の位置，またその計量的な配列に関する空間推論の機会となるはずである。実験2では，経路探索の成否を左右する重要な経路選択を行う意思決定地点における，位置関係の更新時の方向推測の違いが，参照点配列の学習に与える影響を検証した。具体的には，意思決定地点となる迷路の中央交差点での更新時に複数方向の目的地に対して更新を行った方が，同一方向にある目的地を規則的に推測するより参照点配列の学習が進むと予測した。

第2章

第1章で設定した仮説検証のため，中規模空間に設置した迷路を用いてゲーム仕立ての経路探索課題を行った。実験参加者は学園祭の来場者で，「迷路ゲーム」への参加を希望し，研究目的でのデータ使用を了解した18～30歳までの学生，社会人であった。参加者には事前に課題内容，事後テスト内容とも伝えず，経路探索課題を通じて偶発的に学習された空間参照点配列の知識の違いを検証した。検証に用いた従属変数は，参照点どうしの位置関係に関する， 360° での相対的な方向判断結果であった。

実験1では，経路プラン作成時の空間推論の包括性の違いが空間学習に与える影響を検証した。実験では，参加者に提示する目的地数の違いによる，分離型プランと複合型プランを比較した。実験の結果，1回の移動ごとに1つの目的地への経路プランを作成する分離型プランより，1度に複数の目的地への経路プランを作成する複合型プランの方が，事後テストで正確に方向判断が行えるとわかった。この結果から，経路プラン作成時の空間推論の違いが空間学習に影響を与え，複合型経路プランが参照点配列の学習を促進したと結論づけた。

実験2と3では，経路プラン実行時の位置関係の更新における推測方向の多様性が空間学習に与える影響を検証した。位置関係の更新を行う地点として，目的地への経路選択にとって重要な迷路の中央交差点を想定した。実験に使用した迷路は，中央交差点を中心に，各目的地への通路が分岐する形状であった。実験2と3は，迷路形状が異なるのみで，同一の手続で行った。実験2の迷路は，中央交差点がなく目的地への経路が複数存在する形状であった。対して，実験3の迷路は，全ての目的地への移動に中央交差点を通過する形状であった。

実験2，3では，目的地の提示順序により中央交差点で行う推測方向の構成が異なる2つの更新パターンを比較した。規則的更新では，1巡の訪問中，自己中心参照枠上の同じ方向にある目的地に対して更新を行った。対して不規則更新では，中央交差点での更新のたびに自己中心参照枠上の異なる方向にある目的地に対し

て更新を行った。中央交差点がない形状の迷路を使用した実験2では、どちらの更新パターンでも参加者の方向判断の正確さは変わらなかった。対して実験3では、不規則更新の方が、規則的更新群より事後テストで正確に方向判断が行えることがわかった。これらの結果から、経路プラン実行時、意思決定地点となる中央交差点で行う多様な方向推測が空間学習に影響を与え、不規則更新が参照点配列の学習を促進したと結論づけた。

第3章

実験1, 2, 3では迷路の天井が塞がれておらず、室内景観をグローバル・ランドマークに準じる手掛かりにして方向推測が行えた。経路プランの作成、実行時の空間推論には、探索空間の既存知識とともに環境情報が用いられていることから、実験1, 2, 3の結果は、実験時の物理的環境に依存する。実験4, 5では、迷路に天井を設けることで空間推論に利用できる環境情報を分離、統制し、実験3と同様の手続で、不規則更新の学習促進効果の検証を行った。

実験4の目的は、ローカル・ランドマークを手掛かりに行う不規則更新パターンの学習促進効果の検証であった。実験では、中央交差点の各通路の入口に、その先にある目的地を示すことでローカル・ランドマークとして機能する標識を設置した。実験に際しては、ローカル・ランドマークにより、目的地の方向を推測する更新の必要がなくなることから、不規則更新の効果はないと予測した。その結果、仮説の通り規則的更新、不規則更新の方向判断の正確さに差はなかった。

実験5の目的は、ランドマークによる手掛かりなしで行う不規則更新パターンの学習促進効果の探索的な検証であった。本研究では、移動に伴い変化する迷路内景観の視覚情報と速度・加速度情報を移動軌跡情報と定義し、それらをもとに行われる位置関係の更新を経路統合タイプのナビゲーション方略と想定した。迷路形状は回転対称であり、入口を除き迷路の内観もほぼ同一で場所や通路を特定する手掛かりが非常に少ない環境であった。従って、空間推論の主な手掛かりは移動軌跡情報だったと考えられる。実験の結果、実験3とは異なり、規則的更新群に比べ不規則更新群の方向判断が不正確であった。本研究では、経路プラン作成以前に迷路内で得た空間知識をベースにした空間推論を学習機会と捉えている。しかし実験5の環境では、自由探索フェイズを通じて、経路プラン作成と実行に利用できる十分な知識が形成され難かったと考えられる。その結果、移動軌跡情報のみによる不規則更新の負荷が高すぎたため、更新に規則性がある規則的更新の方が空間参照点配列を把握しやすかったと結論づけた。

第4章

実験3で観察された不規則更新パターンの学習に、参照点配列構造の違いの効果が関係するかどうかを検討するため、VR空間を用いた実験6を行った。実験3では、不規則更新を行った参加者が目的地に加えて中央交差点も空間参照点と見なした可能性があった。参照点の認識が異なる場合、学習した参照点配列の構造が群間で異なることになる。従って、参照点の配列の違いが空間学習を促進した可能性も考えられた。実験6では、ターゲット配列の異なる2つのVR空間を用いて空間学習課題を行った。1つはSquare配列で、経路探索課題の4つの目的地と同様のターゲット配列であった。もう1つはCentral Node配列で、4つのターゲットに加え、迷路の意思決定地点と同様な位置にもう1つノード・ターゲットを加えた。実験に際しては、Central Node配列の方がSquare配列より空間学習が促進されると予測した。その結果、事後テストでCentral Node配列の方がターゲットの相対的位置関係をより正確に判断できた。ノード・ターゲットによる学習促進効果の機序については、同ターゲットにより分節化したパスが多様な方向推論を可能にすることを挙げた。このように、パスが分節化しノード間の記述が多様となり、空間学習や方向判断時の表象に影響を与えることを分節化仮説として提示した。

5.1.2 本研究の意義

経路プラン作成、実行時の自己中心参照枠による空間推論を、空間学習に影響を与える要因として扱った実空間での実証的な研究は極めて限られる。実験1, 2, 3で行った経路探索課題も先行研究で行われたことはなく、複合型経路プラン、不規則更新パターンの空間学習促進効果は、本研究での新しい知見だと言える。実験5では、晴眼者の経路探索の実態に則した移動軌跡情報を新たに定義し、経路統合タイプのナビゲーションに用いられると想定して実験を行った。これにより、位置推測の手掛かりの違いによる、経路探索行動及び空間学習の違いを、他の条件を統制した上で比較できた。これもまた、先行研究では例のない試みである。さらに、実験3の結果から着想を得て行った実験6では、参照点配列の違いが参照点どうしを結ぶパス構造の違いとなり、空間関係の記述が多様になることで表象しやすさが異なるという分節化仮説を提示した。この考え方も、本研究独自のものである。

本研究では、経路探索に用いることを前提に、学習が進んだ空間知識を新たな

視点で捉えている。実験1, 3で、方向判断の正確さを通じて示された参照点配列の知識の精緻化は、単に位置関係の計量的表象が可能か否かの問題ではないと考えられる。事後テスト中多くの参加者はターゲット配列を覚えていても、相対的な位置計算に難しさを感じていた。例を挙げれば、ある参加者はターゲット配列がわかっているにもかかわらず、それを自分の視点に置き換えるのが難しかったと語っていた。より精緻化した空間知識とは、表象した位置関係を自己中心、環境中心参照枠に置き換えながら、その場で求められる空間関係を計算できるような、使いこなせる状態の知識だと言える。例えば、移動空間の主要地点を1つずつ思い出しながら、その配列を正確にスケッチマップに描けたとしても、経路プランや経路選択のために既存知識を操作し、効率的な移動行動をとれるとは限らない。経路探索において重要なのは、その知識が目的に従って使いこなせるか否かなのである。

実験1, 3では、経路探索課題を通じた物理的な移動量、迷路内で過ごした時間と、事後テストでの方向判断の正確さに関係はなかった。Montello (1998) が“同程度ある空間に接していても、その空間知識の範囲や正確さは人により異なる”と指摘したように、一見同じに思える空間行動が、程度と正確さが異なる空間知識に帰結する理由の1つは空間推論の違いであると考えられる。

5.2 今後の課題

実験1, 2, 3に関して、第2章、2.4.4「一般化の限定とその他の問題」で挙げたように、本実験は中規模空間における比較的単純な参照点配列を学習対象にした。従って、基本的には得られた結果を大規模空間の経路探索にそのままあてはめることはできない。迷路では、複数のターゲットが同時に視界に入らなかったが、直接見えなくても距離の近さにより「そこにある」実感が容易に得られる。空間参照点どうしの距離の近さは、参照点配列の単純さやグローバル・ランドマークによる手掛かりと相まって、学習しやすさにつながる。従って、複合型経路プラン、不規則更新パターンの効果は、今のところこのような学習しやすい状況でのみ得られるものだと考えなければならない。

今後は、複合型経路プラン、不規則更新パターンの効果を大規模空間において検証する必要がある。但し、日常生活で経路探索が行われる空間規模や、参照点配列の複雑さはさまざまである。効率的に検証を行うために、まずは大学キャンパス程度の規模の空間において、数種類の空間参照点配列を用いて実験を行うの

が次のステップとなる。

実験5で定義した移動軌跡情報は、本研究が提唱する新たな概念であり、実験も探索的に行った。今後は独立した研究として、定義自体の妥当性の検討、同様の更新が行われる日常場面の特定等の基礎研究が必要である。

実験3から派生した不規則更新の副次的効果については、まず実験3のような状況で、迷路中央の意思決定地点が空間参照点として認識されるか否かの検証が必要である。実験6で検証した参照点配列自体が持つ学習促進効果は、中規模VR空間において、単純な配列のターゲットを一度に見渡せる状況下で観察された。従って、実験3のような実空間での移動を含め、他の条件で同様な結果が得られるとは限らない。また、同実験の考察で提示した分節化仮説を含め、ノード・ターゲットの学習促進機序についても、今回の実験結果からだけでは説明できない。今後の課題として、まず今回の結果から得られたパス分節化仮説の検証が必要である。その後、他の条件下でも同様の結果が得られるか、さらに検討が必要である。

本研究で確認された方向推測の空間学習促進効果の、日常生活への応用もまた今後の課題である。一般的に、生活に大きな支障がなければ、都市や住宅地、建物内といった生活空間での移動が、系統的な訓練や教育の対象となることは少ない。結果的に、習慣的に行う経路探索やナビゲーション方法は個人により異なっている。現在地や周辺の空間構造を計量的に把握したいと考え空間推論を行う人もいれば、方向を考える習慣すらない人もいる。客観的には同じように移動していても、結果として身につく空間知識は大きく異なるのである。事故や火災、災害等、危険を避ける正しい避難行動が必要な際には、空間知識が生死を分けることも考えられる。移動の際に意識的に空間推論を行うだけでも、場所どうしの位置関係の学習が促進されることから、本研究の結果を学校や会社の避難訓練、新入学時の児童、生徒への学校内外の主要施設の位置学習へ応用することも今後検討していきたい。

文献

- Allen, G. L. (1999a). Spatial abilities, cognitive maps, and wayfinding: Bases for individual differences. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 46-80). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Allen, G. L. (1999b). Cognitive abilities in the service of wayfinding: A functional approach. *Professional Geographer*, **51**, 554-561.
- Attneave, F., & Olson, R. K. (1967). Discriminability of stimuli varying in physical and retinal orientation. *Journal of Experimental Psychology*, *74*, 149-157.
- Barry, C., Lever, C., Hayman, R., Hartley, T., Burton, S., O'Keefe, J., et al. (2006). The boundary vector cell model of place cell firing and spatial memory. *Reviews in the Neurosciences*, *17*, 71-97.
- Batschelet, E. (1981). *Circular statistics in biology*. New York, NY: Academic Press.
- Blades, M. (1997). Research paradigms and methodologies for investigating children's wayfinding. In N. Foreman & R. Gillet (Eds.), *A handbook of spatial research paradigms and methodologies: Spatial cognition in the child and adult* (Vol. 1, pp. 103-130). Hove, UK: Psychology Press.
- Committeri, G., Galati, G., Paradis, A. L., Pizzamiglio, L., Berthoz, A., & LeBihan, D. (2004). Reference frames for spatial cognition: Different brain areas are involved in viewer-, object-, and landmark-centered judgments about object location. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **16**, 1517-1535.
- Darwin, C. (1873). Origin of certain instincts. *Nature*, *9*, 417-418.

-
- Diwadkar, V. A., & McNamara, T. P. (1997). Viewpoint dependence in scene recognition. *Psychological Science, 8*, 302-307.
- Easton, R. D., & Sholl, M. J. (1995). Object-array structure, frames of reference, and retrieval of spatial knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 21*, 483-500.
- Edelman, S., & Bulthoff, H. H. (1992). Orientation dependence in the recognition of familiar and novel views of three-dimensional objects. *Vision Research, 32*, 2385-2400.
- Espinosa, M. A., Ungar, S., Ochaíta, E., Blades, M., & Spencer, C. (1998). Comparing methods for introducing blind and visually impaired people to unfamiliar urban environments. *Journal of Environmental Psychology, 18*, 277-287.
- Etienne, A. S. (1992). Navigation of a small mammal by dead reckoning and local cues. *Current Directions in Psychological Science, 1*, 48-52.
- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and the automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 24*, 227-233.
- Fink, G. R., Marshall, J. C., Weiss, P.H., Stephan, T., Grefkes, C., Shah, N. J., Zilles, K., & Dietrich, M. (2003). Performing allocentric visuospatial judgments with induced distortion of the geocentric reference frame: An fMRI study with clinical implications. *Neuroimage, 20*, 1505-1517.
- Foo, P., Warren, W. H., Duchon, A., & Tarr, J. M. (2005). Do humans integrate routes into a cognitive map? Map- versus landmark-based navigation of novel shortcuts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 31*, 195-215.
- Franklin, N., & Tversky, B. (1990). Searching imagined environments. *Journal of Experimental Psychology: General, 119*, 63-76.
- Galati, G., Lobel, E., Vallar, G., Berthoz, A., Pizzamiglio, L., & Le Bihan, D. (2000). The neural basis of egocentric and allocentric coding of space in humans: A functional magnetic resonance study. *Experimental Brain Research, 133*, 156-164.

-
- Gallistel, C. R. (1990). *The organization of learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gärling, T., Böök, A., & Lindberg, E. (1984). Cognitive mapping of large-scale environments: The interrelationships of action plans, acquisition, and orientation. *Environment & Behavior*, *16*, 3-34.
- Gärling, T., Böök, A., & Lindberg, E. (1986). Spatial orientation and wayfinding in the designed environment: A conceptual analysis and some suggestion for post-occupancy evaluation. *Journal of Architectural and Planning Research*, *3*, 55-64.
- Golledge, R. G. (1992). Place recognition and wayfinding: Making sense of space. *Geoforum*, *23*, 199-214.
- Golledge, R. G. (1999). Human wayfinding and cognitive maps. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 5-45). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Golledge, R. G., Jacobson, R. D., Kitchin R., & Blades, M. (2000). Cognitive maps, spatial abilities, and human wayfinding. *Geographical Review of Japan*, *73*, 93-104.
- Hart, R. A., & Berzok, M. (1982). Children's strategies for mapping the geographic-scale environment. In M. Potegal (Ed.) *Spatial abilities: Development and physiological foundations* (pp. 147-169). New York, NY: Academic Press.
- Hart, R. A., & Moore, G. T. (1973). The development of spatial cognition: A review. In R. M. Downs & D. Stea (Eds.) *Image and Environment* (pp. 246-288). Chicago, IL: Aldine.
- Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser M-B., & Moser E. I. (2005). Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature*, *436*, 801-806.
- Heft, H. (1983). Way-Finding as the perception of information over time. *Population and Environment*, *6*, 133-150.
- Hölscher, C., Meilinger, T., Vrachliotis, G., Brosamle, M., & Knauff, M. (2007). Up the down staircase: Wayfinding strategies in multi-level buildings.

-
- Journal of Environmental Psychology*, *26*, 284-299.
- Howard, I. P. (1991). Spatial vision within egocentric and excentric frames of references. *Pictorial communication in virtual and real environments*. 338-358.
- Karimi, H. A. (2015). *Indoor Wayfinding and Navigation*. H. A. Karimi (Ed.), (pp. vii-ix). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kato, Y., & Takeuchi, Y. (2003). Individual differences in wayfinding strategies. *Journal of Environmental Psychology*, *23*, 171-188.
- Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Beall, A. C., Chance, S. S., & Golledge, R. G. (1998). Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion. *Psychological Science*, *9*, 293-298.
- Kuipers, B. (1978). Modeling spatial knowledge. *Cognitive Science*, *2*, 129-153.
- Kuipers, B. (2000). The spatial semantic hierarchy. *Artificial Intelligence*, *119*, 191-233.
- Kuipers, B., Tecuci, D. G., & Stankiewicz, B. J. (2003). The skeleton in the cognitive map: A computational and empirical exploration. *Environment and Behavior*, *35*, 81-106.
- Levine, M. (1982). You are here maps: Psychological considerations. *Environment and Behavior*, *14*, 221-237.
- Levine, M., Marchon, I., & Hanley, G. (1984). The placement and misplacement of you-are-here maps. *Environment and Behavior*, *16*, 139-157.
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Golledge, R. G., & Philbeck, J. W. (1999). Human navigation by path integration. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 125-151). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Lynch K, (1960). *The Image of the City*, Cambridge, MA; MIT Press.
- Madl, T., Chen, K., Montaldi, D., & Trappl, R. (2015). Computational cognitive models of spatial memory in navigation space: A review. *Neural Network*, *65*, 18-43.

-
- Mallot, H. (1999). Spatial cognition: Behavioral competences, neural mechanisms, and evolutionary scaling. *Kognitionswissenschaften*, *8*, 40-48.
- Marr, D., & Nishihara, H. K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 200, 269-294.
- McNamara, T. P. (1986). Mental representations of spatial relation. *Cognitive Psychology*, *18*, 87-121.
- McNamara, T. P., Rump, B., & Werner, S. (2003). Egocentric and geocentric frames of reference in memory of large-scale space. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 589-595.
- Meilinger, T. (2008). The network of reference frames theory: A synthesis of graphs and cognitive maps. In C. Freksa, N. S. Newcombe, P. Gärdenfors, & S. Wölfl (Eds.), *Spatial Cognition VI. Learning, Reasoning, and Talking about Space* (pp.344-360). Berlin, Germany: Springer.
- Mengue-Topio, H., Courbois, Y., Farran, E. K., & Sockeel, P. (2011). Route learning and shortcut performance in adults with intellectual disability: A study with virtual environments. *Research in Developmental Disabilities*, *32*, 345-352.
- Mittelstaedt, H., & Mittelstaedt, M. L. (1982). Homing by path integration. In F. Pani & H. G. Wallraff (Eds.), *Avian navigation* (pp. 290-297). New York, NY: Springer-Verlag.
- Montello, D. R. (1998). A new framework for understanding the acquisition of spatial knowledge in large-scale environments. In M. J. Egenhofer & R. G. Golledge (Eds.), *Spatial and temporal reasoning in geographic information systems* (pp. 143-154). New York, NY: Oxford University Press.
- Montello, D. R. (2001). Spatial cognition. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (pp. 14771-14775). Oxford, UK: Pergamon Press.
- Montello, D. R. (2005). Navigation. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The*

-
- Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 257-294). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Montello, D. R., Hegarty, M., Richardson, A. E., & Waller, D. (2004). Spatial memory of real environments, virtual environments, and maps. In G. Allen (Ed.), *Human spatial memory: Remembering where* (pp. 251-285). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mou, W., & McNamara, T. P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *28*, 162-170.
- Mou, W., Zhao, M., & McNamara, T. P. (2007). Layout geometry in the selection of intrinsic frame of reference from multiple viewpoints. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*, 145-154.
- Müller, M., & Wehner, R. (1988). Path integration in desert ants, *Cataglyphis fortis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *85*, 5287-5290.
- O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Pani, J. R., & Dupree, D. (1994). Spatial reference systems in the comprehension of rotational motion. *Perception*, *23*, 929-946.
- Passini, R. (1981). Wayfinding: A conceptual framework. *Urban Ecology*, *5*, 17-31.
- Passini, R. (1984a). *Wayfinding in architecture*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.
- Passini, R. (1984b). Spatial representations, a wayfinding perspective. *Journal of Environmental Psychology*, *4*, 153-164.
- Philbeck, J. W., & O'Leary, S. (2005). Remembered landmarks enhance the precision of path integration. *Psicológica*, *26*, 7-24.
- Philbeck, J. W., & Sargent, J. (2013). Perception of spatial relations during self-motion. In G. Waller & L. Nadel (Eds.), *Handbook of spatial cognition* (pp. 99-115). Washington, DC: American Psychological Association.

-
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The child's conception of space*. London, UK: Routledge & Kegan Paul.
- Poucet, B. (1993). Spatial cognitive maps in animals: New hypotheses on their structure and neural mechanisms. *Psychological Review*, *100*, 163-182.
- Presson, C. C., & Hazelrigg, M. D. (1984). Building spatial representations through primary and secondary learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *10*, 716-722.
- Presson, C. C., DeLange, N., and Hazelrigg, M. D. (1989). Orientation specificity in spatial memory: What makes a path different from a map of the path? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 887-897.
- Raubal, M., & Winter, S. (2002). Enriching wayfinding instructions with local landmarks. In M. J. Egenhofer & D. M. Mark (Eds.) *Geographic Information Science* (Vol. 2478, pp. 243-259). Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
- Rieser, J.J. (1983). The generation and early development of spatial inferences. In H.L. Pick & L.P. Acredolo (Eds.). *Spatial orientation: Theory, research and application* (pp. 39-71). New-York: Plenum Press.
- Rieser, J. J. (1989). Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 1157-1165.
- Rieser, J. J. (1999). Dynamic spatial orientation and the coupling of representation and action. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 168-190). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Rieser, J. J., Guth, D. A., & Hill, E. W. (1986). Sensitivity to perspective structure while walking without vision. *Perception*, *15*, 173-188.
- Rosch, E. (1975). Cognitive reference points. *Cognitive Psychology*, *7*, 532-547.
- Rosch, E., & Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, *7*, 573-605.

-
- Roskos-Ewoldsen, B., McNamara, T. P., Shelton, A. L., & Carr, W. (1998). Mental representations of large and small spatial layouts are orientation dependent. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24*, 215-226.
- Russell, J. A., & Ward, L. M. (1982). Environmental psychology. *Annual Review of Psychology*, *33*, 651-688.
- Sadalla, E. K., Burroughs, W. J., & L. J. Staplin (1980). Reference points in spatial cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *6*, 616-528.
- Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 10, pp. 9-55). New York, NY: Academic Press.
- Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (1997). Multiple views of spatial memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *4*, 102-106.
- Shemyakin, F. N. (1962). Orientation in space. In B. G. Ananyev et al. (Eds.), *Psychological science in the USSR* (Vol. 1, Part 1, pp. 186-255). Washington, DC: U.S. Office of Technical Reports.
- Sholl, M. J., & Nolin, T. L. (1997). Orientation specificity in representations of place. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *23*, 1494-1507.
- Solstad, T., Boccara, C. N., Kropff, E., Moser, M.-B., & Moser, E. I. (2008). Representation of geometric borders in the entorhinal cortex. *Science*, *322*, 1865-1868.
- Spiers, H. J., & Maguire, E. A. (2008). The dynamic nature of cognition during wayfinding. *Journal of Environmental Psychology*, *28*, 232-249.
- Steck, S. D., & Mallot, H. A. (2000). The Role of global and local landmarks in virtual environment navigation. *Presence*, *9*, 69-83.
- Stern, E., & Portugali, J. (1999). Environmental cognition and decision making in urban navigation. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 99-119).

-
- Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Tarr, M. J. & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, *21*, 233-283.
- Taube, J. S., Muller, R. U., & Ranck, Jr., J. B. (1990). Head-Direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. II. Effects of environmental manipulations. *The Journal of Neuroscience*, *10*, 436-447.
- Thorndyke, P. W., & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, *14*, 560-589.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, *55*, 189-208.
- Trullier, O., Wiener, S. I., Berthoz, A., & Meyer, J. (1997). Biologically based artificial navigation systems: Review and prospects. *Progress in Neurobiology*, *51*, 483-544.
- Thinus-Blanc, C., & Gaunet, F. (1997). Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? *Psychological Bulletin*, *121*, 20-42.
- Wehner, R., & Wehner, S. (1986). Path integration in desert ants: Approaching a longstanding puzzle in insect navigation. *Monitore Zoologico Italiano*, *20*, 309-331.
- Werner, S., & Schmidt, K. (1999). Environmental reference systems for large-scale spaces. *Spatial Cognition & Computation*, *1*, 447-473.
- Werner, S., Krieg-Brückner, B., Mallot, H. A., Schweizer, K., & Freksa, C. (1997). Spatial cognition: The role of landmark, route, and survey knowledge in human and robot navigation. In M. Jarke, K. Pasedach, & K. Pohl (Eds.), *Informatik '97, Informatik als Innovationsmotor* (pp.41-50). Berlin, Germany: Springer.
- Wilson, K. D., Woldorff, M. G., & Mangun, G. R. (2005). Control networks and hemispheric asymmetries in parietal cortex during attentional orienting in different spatial reference frames. *Neuroimage*, *25*, 668-683.
- Wiener, J. M., Büchner, S. J., & Hölscher, G. (2009). Taxonomy of human wayfinding tasks: A knowledge-based approach. *Spatial Cognition & Computation*, *9*, 152-165.

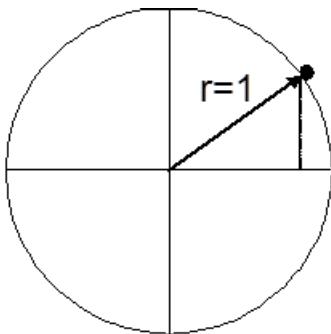
-
- Vavrečka, M., Gerla, V., Lhotská, G., & Brunovský, M. (2012). Frames of reference and their neural correlates within navigation in a 3D environment. *Visual Neuroscience*, *29*, 183-191.
- Vandenberg, A. E. (2016). Human wayfinding: Integration of mind. In R. H. Hunter, L. A. Anderson, & B. L. Belza (Eds.), *Community Wayfinding: Pathways to Understanding* (pp. 17-32). Cham, Switzerland: Springer.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis, Fourth edition*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

付録

付録 1 角度平均, v 値算出基準, V test, Watson-Williams test

● 角度平均の算出方法

- n 個の角度データに対する角度平均を考える際、まず r 値で表される平均ベクトルの長さを求める(単位円上の 1 点の場合 $r=1$)。



$$X = \frac{\sum_{i=1}^n \cos \phi_i}{N}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n \sin \phi_i}{N}$$

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

- 角度平均 \bar{a} は、下記のコサイン, サインを持つ角度。

$$\cos \bar{a} = \frac{X}{r} \quad \sin \bar{a} = \frac{Y}{r} \quad \tan \bar{a} = \frac{Y}{X} \quad \bar{a} = \arctan \frac{Y}{X}$$

● v 値の算出方法

- 角度平均を \bar{a} , 正解角度を θ とする。

$$v = r \cos(\bar{a} - \theta)$$

● V test

- ・ 観察された円周上のデータが、任意の角度, θ_0 , に集まっているか, ランダムに分布するかを判定するための検定。

帰無仮説 H_0 : 母集団は一様分布である。

検定統計量 : $u = (2n)^{1/2}v$

● Watson-Williams test

- ・ 二つの独立した円周上のデータの角度平均が有意に異なるかを判定するための検定。

帰無仮説 H_0 : 二つの円周上のデータの角度平均は等しい。

各データの合成ベクトルの成分と長さ :

$$C_1 = \sum_{i=1}^n \cos\phi_i, \quad S_1 = \sum_{i=1}^n \sin\phi_i, \quad R_1 = (C_1^2 + S_1^2)^{1/2}$$

$$C_2 = \sum_{i=1}^n \cos\psi_i, \quad S_2 = \sum_{i=1}^n \sin\psi_i, \quad R_2 = (C_2^2 + S_2^2)^{1/2}$$

二つのデータをこみにした合成ベクトルと成分の長さ :

$$C = C_1 + C_2, \quad S = S_1 + S_2, \quad R = (C^2 + S^2)^{1/2}$$

検定統計量 : $F' = g(N-2) \frac{R_1 + R_2 - R}{N - (R_1 + R_2)}$

ただし, $N = n_1 + n_2$, $g = 1 + \frac{3}{8\bar{r}}$ とする。

\bar{r} は, $\bar{r} = \frac{R_1 + R_2}{n}$, $\bar{n} = \frac{n_1 + n_2}{2}$ をもとに付表 (Batschelet, 1981) より決定。

付録2 経路探索課題のカバーストーリーと提示文

実験 1

迷路内を日本の架空の町として、住人のキャラクターを4つ設定した。自由探索フェイズで最後にキーが押された住人が、猫のミーちゃんの飼い主となり、「猫が帰ってこないで、町の人達が何か知らないか聞きに行つて来て欲しい」と依頼した。訪問先では、それぞれのキャラクターがミーちゃんの情報を提供した。一巡して飼い主のキャラクターに戻ると、「まだ帰らないので、もう一度町の人に聞きに行つて欲しい」と再訪問を依頼された。二巡目の最後の訪問先でミーちゃんがみつきり、依頼主に報告に行った。



ヨネ



なな



源太郎



あけみ

提示文一覧

1. 自由探索フェイズ

- ・1～3番目にキー押下された場合

【共通台詞】

ヨネ：先週、町内会の旅行で日光に行ったんだよ。紅葉真っ盛りできれいだったねえ。今回は山田さんの孫のななちゃんも来たんだよ。まだ小さいのに温泉が好きなんだってさ。

何？ミーちゃん？しょっちゅううちの縁側で昼寝しているよ。

なな：ななは、小学校1年生！ウサギの飼育係をやっているの！幼稚園で仲よしだったヒロト君と同じクラスだよ。ヒロト君のママはあけみってスナックをやっているの。

ミーちゃん？よくうちの庭に遊びに来るのよ。撫でさせてくれるの。

源太郎：うちは3代続く八百屋だよ。町内の事情通だから、地獄耳の源なんて言われているよ。さっきヨネおばあちゃんが栗を買って行ったから、今晚は栗ご飯だな。

ああ、ミーちゃん？よく店に来て野菜のダンボールで爪とぎしてくね。

あけみ：この不景気、何とかならないかしら……。昔はボトルキープならブランドーだったのに、最近はみんな焼酎なの。昨日、八百屋の源さんのボトルもとうとう焼酎になったわ。

えっ？ミーちゃん？時々店の前でササミをあげるのよ。

2. 訪問フェイズ1巡目

- ・4番目にキー押下されたターゲット（訪問の起点となる依頼主）

【共通台詞】

ヨネ：うちのミーちゃんが帰って来ないんだよ。今朝早く散歩に行くのを見たんだけど、それっきりなんだ。心配で寿命が縮まりそうだよ。

この年寄りのために、探して来てくれないかい？

なな：大変なの！うちのミーちゃんがいなくなったの！今朝早く散歩に行つて帰らないってママが言っているの。どうしよう。

ミーちゃんを探すの、手伝ってくれる？

源太郎：うちのミーちゃんがいなくなった…。今朝早く散歩に行ったきり帰って来ないってんで、女房が大騒ぎしていて仕事にならないよ。

お客さん、探して来てくれないかな？

あけみ：大変だわ！うちのミーちゃんが帰って来ないの…。今朝早く散歩に行ったきりなのよ。心配で店を開けられないわ。

あなた、探して来てくれない？

【分離型】まず、〇〇に聞いてみて。

【複合型】最初に〇〇、次に〇〇、最後に〇〇に聞いてみて。

・訪問先ターゲット

【共通台詞】

ヨネ：今日はまだ来てないね…。猫は気ままって言うけど、心配だね。

なな：今日は会ってないの…。どうしよう、ななも心配。

源太郎：今日はまだ通ってないね…。帰って来ないのか？心配だね。

あけみ：今日はまだ来てないわ…。いなくなっちゃったの？心配ね。

【分離型】のみ追加

ヨネ：次は、〇〇に聞いてみるといい！

なな：次は、〇〇に聞いてみて！

源太郎：次は、〇〇に聞いてみな！

あけみ：次は、〇〇に聞いてみなさい！

【分離型】【複合型】3番目の訪問先の場合のみ追加

ヨネ：念の為〇〇のところに行って、帰っているかどうか確かめてみなさい！

なな：念の為〇〇のところに行って、帰っているかどうか確かめてみて！

源太郎：念の為〇〇のところに行って、帰っているかどうか確かめてみな！

あけみ：念の為〇〇のところに行って、帰っているかどうか確かめてみて！

3. 訪問フェイズ2 巡目

・訪問の起点となる依頼主

【共通台詞】

ヨネ：まだ帰って来ないんだよ。もう一度皆に聞いてきてみておくれ。

なな：まだ帰って来ないの。もう一度皆に聞いてきてみて。

源太郎：まだ帰ってないんだ。もう一度皆に聞いてみてくれ。

あけみ：まだ帰って来ていないわ。もう一度皆に聞いてきてみて。

【分離型】まず、〇〇に聞いてみて。

【複合型】最初に〇〇、次に〇〇、最後に〇〇に聞いてみて。

・訪問先ターゲット 1, 2 番目

【共通台詞】

ヨネ：さっきうちの庭を通ったよ！

なな：さっきうちの前を通ったの！

源太郎：さっき店の前を通ったよ！

あけみ：さっき店の前を通ったわ！

【分離型】のみ追加

ヨネ：あっちに行ったから〇〇のところかも。〇〇に聞いてみな！

なな：あっちに行ったから〇〇のところかも。〇〇に聞いてみて！

源太郎：あっちに行ったから〇〇のところかも。〇〇に聞いてみな！

あけみ：あっちに行ったから〇〇のところかも。〇〇に聞いてみなさい！

・訪問先ターゲット 3 番目

【共通台詞】

ヨネ：何？ミーちゃんかい？今うちにいるよ！

〇〇のところに行って知らせてあげな！

なな：ミーちゃん？今うちにいるよ！

〇〇のところに行って知らせてあげて！

源太郎：ああ！ミーちゃんなら今うちにいるよ！

〇〇のところに行って知らせてあげな！

あけみ：あら！ミーちゃん今うちにいるわよ。

〇〇のところに行って知らせてあげて！

・依頼主

【共通台詞】

ヨネ：ありがたい、ありがたい！やっと生きた心地がするよ！

なな：ありがとう！ななすごく嬉しい！

源太郎：ありがとよ！女房も感謝しているよ！

あけみ：ありがとう！これで安心して店が開けられるわ！

実験 2～5

迷路内を東南アジアの架空の村として、住人のキャラクターを4つ設定した。自由探索フェイズで最後にキーが押された住人が、依頼主となり、「村の秘宝が猿に盗まれた、村の人達が何か知らないか聞きに行つて来て欲しい」と依頼した。訪問先では、それぞれのキャラクターがいつ猿を見たかの情報を提供した。一巡して依頼主のキャラクターに戻ると、「もう一度町の人に聞きに行つて欲しい」と再度訪問を依頼された。



ブラ村長



お坊さんのナム



象使いのヤイ



ダオばあちゃん

提示文一覧

1. 自由探索フェイズ

- ・ 1～3 番目にキー押下された場合

【共通台詞】

ブラ：遠い所からよく来られた。ここは古代グンヤーン王朝の血を引く私達
ハムハム族の村。ゆっくりして行って下され。そうだ，象公園のヤイ
の所に行ってみなさい。象に乗って村を一周できるそうさ。

この村の秘宝だって？それは教えられない

ナム：僕は生まれも育ちもバンコクで，田舎に住むのは初めてです。この村
ではメールができないので困っています。祖父がブラ村長と小学校の
同級生というご縁があり，この村のお寺に参りました。

この村の秘宝ですか？新参者の私は知りません。

ヤイ：像使い歴は長い方から 3 番目だけど、今じゃ象公園の一番手だ！最近
はロシアからの観光客が多いけど，おたくさん何処から？俺のダオば
あちゃんが村で雑貨屋やっているから帰りに寄っていきな！

この村の秘宝だって？ただの伝説だよ。

ダオ：店を開いて 60 年。最初は野菜だけだったけど、今は手広く商売して
いるよ。最近寺に新米のお坊さんが来たね。ナム君って言ったかね。
お母さんが恋しいのか，よく手紙を出しに来るよ。

この村の秘宝だって？聞いたことはあるね…。

2. 訪問フェイズ 1 巡目

- ・ 4 番目にキー押下されたターゲット（訪問の起点となる依頼主）

【全員共通台詞】

大変だ！ちょっと目を離したすきに小猿がこの村のお宝を持って行った！悪
いけど一緒に猿を探してくれないか？

最初に〇〇、次に〇〇、最後に〇〇に聞いてみて。

- ・ 訪問先ターゲット

【共通台詞】

付録

ブラ：この村のお宝が小猿に盗まれた？それは大変だ。困った。
 ナム：この村のお宝が小猿に盗まれた？僕には見当もつきません。
 ヤイ：この村のお宝が小猿に盗まれた？秘宝は伝説じゃなかったのか！
 ダオ：この村のお宝が小猿に盗まれた？どうせ大した物じゃないだろうが。

【共通台詞】3番目の訪問先の場合のみ追加

ブラ：この村に猿はたくさんおる…。もう一度〇〇のところに行って、どんな猿だか聞いて来て下さらんか！
 ナム：この村に猿はたくさんいます。もう一度〇〇のところに行って、どんな猿だか聞いて来て下さい！
 ヤイ：この村に猿はたくさんいるんだよ。もう一度〇〇のところに行って、どんな猿だか聞いておいで！
 ダオ：この村に猿はたくさんいるんだよ。もう一度〇〇のところに行って、どんな猿だか聞いておいで！

3. 訪問フェイズ2 巡目

・訪問の起点となる依頼主

【共通台詞】

ブラ：どんな猿か？それはすまなんだ。そうだ、尻尾の先が白い小猿だったぞ。
 もう一度皆に聞いて来て下さらんか？
 ナム：どんな猿か？それはすみませんでした。そうだ、尻尾の先が白い小猿です。
 もう一度皆に聞いて来てくれませんか？
 ヤイ：どんな猿か？それはすまなかった。そうだ、尻尾の先が白い小猿だ。
 もう一度皆に聞いて来てくれないか？
 ダオ：どんな猿か？それはすまなかった。そうだ、尻尾の先が白い小猿だ。
 もう一度皆に聞いて来てくれないか？

【共通台詞】

最初に〇〇、次に〇〇、最後に〇〇に聞いてみて。

・訪問先ターゲット1, 2番目

【共通台詞】

ブラ：尻尾の先が白い猿？その猿なら、さっき葱畑におったんで作物を荒ら

付録

すと思って追っ払ったぞ！

ナム：尻尾の先が白い猿？その猿なら、さっき私の鳥の声に驚いて出て行ってしまいました！

ヤイ：尻尾の先が白い猿？その猿なら、さっき小象をからかって逆に脅かされて逃げていったぞ！

ダオ：尻尾の先が白い猿？その猿なら、さっき店の菓子に手を出そうとしたから追い出したよ！

・訪問先ターゲット3番目

【共通台詞】

ブラ：尻尾の先が白い猿？その猿ならここにおる！

捕まえておいてあげるから、〇〇のところに行って知らせてあげなされ！

ナム：尻尾の先が白い猿？その猿ならここにいます！

捕まえておきますから、〇〇のところに行って知らせてあげてください。

ヤイ：尻尾の先が白い猿？その猿ならここにいるぞ！

捕まえておいてやるから、〇〇のところに行って知らせてあげな！

ダオ：尻尾の先が白い猿？その猿ならここにいるぞ！

捕まえておいてあげるから、〇〇のところに行って知らせてあげな！

・依頼主

【共通台詞】

ブラ：〇〇のところにいるのか！ありがとう！これから行ってみるよ。

お礼がわりにお宝の秘密をお教えしよう。この村の秘宝とは…我が家に代々伝わる仏像なんだよ。

ナム：〇〇のところにいるのか！ありがとう！これから行ってみます。

お礼がわりにお宝の秘密をお教えします。この村の秘宝とは…ご住職がチベットから持ち帰った経典なんです。

ヤイ：象使いのヤイ：〇〇のところにいるのか！ありがとう！これから行ってみるよ。

お礼がわりにお宝の秘密を教えるよ。この村の秘宝とは…象の頭飾りのルビーなんだ。

ダオ：〇〇のところにいるのか！ありがとう！これから行ってみるよ。

付録

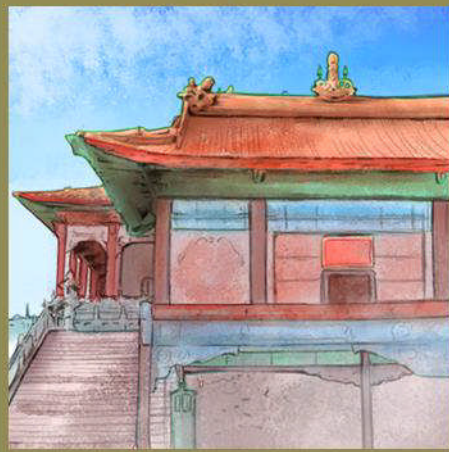
お礼がわりにお宝の秘密を教えよう。この村の秘宝とは…うちのシャムネコなんだよ。

付録 3 実験 4 で使用した標識

民家



寺院



公園



雑貨屋



初出一覧

●第1章及び第2章

【査読付き論文】

Ohtsu, K., & Ouchi, Y. (2010). The Influence of Route Planning and its Execution on Spatial Learning. *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 2494-2499.

<http://mindmodeling.org/cogsci2010/papers/0610/paper0610.pdf>

Ohtsu, K. (2017). Spatial learning by egocentric updating during wayfinding in a real middle-scale environment: Effects of differences in route planning and following. *Journal of Environmental Psychology*, 50, 51-59.

【学会発表】

大津嘉代子(2009). 経路探索課題による位置関係の学習. 日本心理学会第73回大会発表論文集, 730.

大津嘉代子(2010). 経路探索課題による位置関係の学習-2-. 日本心理学会第74回大会発表論文集, 693.

●第3章

【学会発表】

大津嘉代子(2011). 経路探索課題による位置関係の学習-3-. 日本心理学会第75回大会発表論文集, 685.

大津嘉代子(2012). 経路探索課題による位置関係の学習-4-. 日本心理学会第76回大会発表論文集, 747.

●第4章

【査読付き論文】

Ohtsu, K. (2015). Layout of reference points during navigation: Effects of a central reference point as anchor. *EuroAsianPacific Joint Conference on*

Cognitive Science. 465-470. <http://ceur-ws.org/Vol-1419/paper0075.pdf>

【紀要】

大津嘉代子(2014). ターゲット配列が空間学習に及ぼす影響. 学術研究, 63, 93-102.

【学会発表】

大津嘉代子(2013). ターゲット配列が空間学習に及ぼす影響. 日本心理学会第77回大会発表論文集, 595.

大津嘉代子(2014). ターゲット配列が空間学習に及ぼす影響-2-. 日本心理学会第78回大会発表論文集, 662.