放射状迷路におけるラットの探索行動

名古屋大学 芳賀康朗¹

Rats' exploratory behavior in the radial-arm maze

YASUAKI HAGA

Department of Psychology, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464

はじめに

Olton & Samuelson (1976) によって開発された放射状迷路は、ラットの学習や記憶の中枢メカニズムの研究に広く利用されてきた。その背景には、被験体が課題習得に要する試行数が比較的少ないこと(岩崎, 1985), 選択遅延や強制選択などの操作によって多様な課題事態が設定できるなどの利点があったものと考えられる。しかし、この課題は空間学習課題として開発された経緯を持つため、「正選択数」や「誤選択数」といった被験体の選択効率を分析することが主要な目的となった。

その一方、1980年代半ばから Brown ら(例えば, Brown & Cook, 1986; Brown, Wheeler, & Riley, 1989) は、ラットが迷路中央のプラットフォームで行う探索行動に着目し、アーム選択行動についての新たな所見を提出してきた。試行内選択系列における探索行動の分析を中心とした彼らの研究は、ラットの空間記憶の特徴を直接的に扱ったものではないが、アーム選択における意思決定プロセスの構造について興味深い示唆を与えるものといえる。さらに、筆者

(芳賀, 1995; Haga, 1997, in press) はこれらの探索行動の試行間推移について、いくつかの事実を報告してきた。本稿ではそれらの所見を中心にして、放射状迷路におけるラットの探索行動の特徴について述べていきたい。

1. 放射状迷路課題における探索行動の一般的特徴

アーム進入前にプラットフォームの縁で躊躇するように立ち止まり、頭部のみをアーム上に出して周囲を観察するような行動 (Figure 1) は、Olton & Samuelson (1976) の研究で既に報告されていた。彼らはこの行動を“orienting behavior”と呼び、訓練開始後の数日間に観察されることや、複数のアームに対して連続して行われる場合があることを特徴としてあげてい

Figure 1. Door investigation observed in rats.

¹本稿は日本動物心理学会第57回大会のシンポジウムにおいての発表をまとめたものである。発表の機会を与えてくださった岩崎庸男先生(筑波大学), 論文作成にあたり有益なご指摘を頂きました辻敬一郎先生(名古屋大学)と石井澄先生(名古屋大学)に厚く感謝いたします。

る。しかし、その行動についての定量的な分析が行われることはなかった。

これ以降、この行動が研究上の関心を集めることはなかったが、Brown & Cook (1986) の研究では、探索行動を含む種々の行動項目についての体系的な分析が初めて行われた。彼らは、すべての報酬を得るまで自由にアームに進入することができる自由選択課題でのエソグラムを解析し、試行内選択系列における各行動項目の出現頻度の推移の特徴を検討している。

彼らが分析の対象としたのは、アーム選択順序、プラットフォームとアームにおける滞留時間、そして3種類の探索行動 (door investigation, arm investigation, cracking) などであった。door investigation² (以下 DI) とはプラットフォーム滞留中にアーム入口のドア付近に頭部を近づけて行われる探索行動、arm investigation とはアーム滞留中に床やアーム間の仕切り板に対して行われる探索行動、そして cracking とはアーム滞留中にアーム間の隙間に首を出して実験室の床に向かって行われる探索行動と定義されている。

彼らの分析の結果、試行内でのアーム選択回数が増加するにつれて、反応連鎖 (一定方向への転回や等角度にあるアームの連続選択) への依存傾向は弱まるとともに DI の頻度が上昇し、結果的にプラットフォーム滞留時間が増加することが示された。また、DI 以外の2種類の探索行動には選択回数の増加にともなう頻度変化は認められなかった。

一方、探索行動の試行間推移について分析を行った Haga (1997) の研究では、より解決が困難な事態において、DI の頻度が試行数の増加にともなって上昇することが示されている。また、

芳賀 (1995) や Haga (in press) では、課題要求の違いによって、DI の頻度は異なった推移を示すことが報告されている。

2. 代理的試行錯誤行動との相違点

このようなラットの探索行動は、放射状迷路が開発される以前に、既に Small (1901) や Muenzinger (1938), Tolman (1939) らによる視覚弁別課題や迷路学習課題において報告されており、その行動は“代理的試行錯誤” (vicarious trial and error: VTE) と呼ばれていた。また、この VTE は、実際の選択に先行する能動的な刺激比較行動として考えられてきた。

VTE に関しては、(1)刺激間の弁別が困難な事態での生起頻度が高い、(2)課題習得直前に頻度が上昇する、(3)課題習得後には頻度が下降することなどが一般的特徴として挙げられている。しかしながら、これらの特徴のすべてが放射状迷路課題においても観察されるわけではなく、いくつかの相違点も見出される。そのひとつが、試行経験にともなう探索行動の頻度変化である。

放射状迷路を用いた自由選択課題では、Tolman (1938) によって報告された探索行動頻度の下降傾向が確かに認められている (芳賀, 1994)。しかし、課題解決が困難である強制選択課題においてはそのような傾向は必ずしも認められない。強制選択後に未選択のアームに進入することが要求される一般的な Shift 課題では、課題習得直前に DI の頻度が急激に上昇する傾向は認められず、訓練開始直後から徐々に上昇していった。また正選択率が 80% を越えた後も、その頻度が下降する傾向は認められなかった (Haga, in press)。

探索行動の頻度変化にこのような相違点が生じる原因としては、Muenzinger や Tolman らが用いた従来の学習実験装置と放射状迷路との構造上の差異や、課題手続きの差異が考えられる。

1 単位式 T 迷路やジャンピング・スタンドの

²プラットフォーム上で行う探索行動には、“micro choice” (Brown, 1992) や“arm investigation” (Haga, 1997) という用語が用いられる場合もあるが、本稿では door investigation で統一した。

ような装置では、報酬の置かれる場所（目標地点）は通常1カ所であるが、放射状迷路ではプラットフォームに連結されたアームの数だけ目標地点を設置することができる。また、前者の装置を用いた場合、1試行の選択回数は1回のみであるが、放射状迷路課題では複数の選択によって1試行が構成されている。さらに、前者では選択点で遭遇する選択肢はふたつに限定されるが、放射状迷路では、次選択を行うために必ず中央のプラットフォームに戻ることが要求されるため、常に複数の選択肢に遭遇することになる。

また、多単位式T迷路やハンブトンコート迷路と比較した場合、相違点のひとつは選択地点への遭遇の仕方にある。これらの迷路では各選択地点の空間的位置はすべて異なっており、それらが走行にともなって逐次的に出現する。一方、放射状迷路における選択地点とは中央のプラットフォームのみであり、そこでは毎選択で同じ選択肢が同時に出現することになる。もうひとつの相違点は、正選択を行うためのルートにある。前者の迷路では、訓練期間中に選択地点の配置が変更されないかぎり、出発地点から目標地点までのルートはひとつに限定される。しかし放射状迷路課題では、強制選択アームの操作やラットのアーム選択順序によって試行間で変化していく。

こうした従来型の学習実験装置と放射状迷路との相違点をふまえると、それぞれの装置において効率的な選択を行うために必要とされる行動方略、そして課題解決のための情報処理過程も異なることが示唆される。したがって、それぞれの課題で発現される探索行動には形態上の類似点は認められるものの、機能上の相違や探索後の選択行動に及ぼす影響の相違があることも推測される。

以下では、放射状迷路課題における探索行動の試行内推移と試行間推移の分析を行った研究を取り上げ、アーム選択にかかわる情報処理過程の問題について論じていく。

3. 探索行動の試行内推移

放射状迷路課題で効率的なアーム選択を行うには、一度進入したアームへの再進入を避け、報酬の残っているアームに進入することが必要とされる。そのためには、未選択アームと既選択アームを記憶し、弁別しなくてはならない。こうした情報処理過程には迷路外の視覚の手がかりが関与していることがこれまでに明らかにされてきた (Olton & Samuelson, 1976; Zoladek & Roberts, 1978)。

特に課題遂行に関わる記憶過程に関しては膨大な数の実験的研究が行われてきたが、そこで盛んに論じられてきたのは課題遂行に関わる記憶情報の種類であった。そのひとつは、課題遂行が迷路外手がかりの包括的な記憶表象に基づいて行われているとする「認知地図仮説」である (Suzuki, Augerinos, & Black, 1980; Mazmanian & Roberts, 1983)。もうひとつは、迷路外手がかりを用いて形成された既選択アームのリストに基づいて課題を遂行するという「作業記憶仮説」である (Olton, 1978)。

両仮説の妥当性については、損傷実験や薬理実験などの手法を用いて多角的に検討されてきたが、BrownらはDIの試行内推移を分析することによって、新たな所見を提示している (Brown, 1992, 1993; Brown & Cook, 1986; Brown, Rish, VonCulin, & Edberg, 1993)。彼らの実験結果が示唆する要点は、ラットはアーム進入の意思決定を、各アームの既選択と未選択に関する作業記憶情報に基づいて逐次的に行っているということである。

前述したBrown & Cook (1986)の12本アームの迷路を用いた研究では、試行前半での反応連鎖傾向と試行後半での頻繁なDIが観察されている。自由選択課題では、試行前半は反応連鎖によるアーム選択を行ってもチャンスレベル以上の確率で未選択アームに遭遇することができる。しかし、既選択アームが増加した試行後半においては、それらのアームへの再進入を回避しなくてはならない。その結果、アームの状

態を作業記憶に基づいて弁別するためのDIの回数が増加したと考えられる。

しかし、ラットが実験環境の認知地図を形成し、それを課題解決に利用しているならば、毎選択ごとにDIによるアーム弁別を行う必要はないと考えられる。認知地図内の情報には手がかりの配置関係のみでなく、移動プランや各アームの状態についての情報も含まれていることが、幾つかの研究で示唆されてきた(Roberts, 1979; Gallistel, 1990)。したがって、認知地図情報に基づくアーム選択が行われているのであれば、逐次的に感覚入力情報と記憶情報とを「照合(matching)」するのではなく、記憶情報を「走査(scan)」することによって、進入すべきアームを決定しているものと推測される。しかし、Brown & Cook (1986)の実験結果が示すように、試行後半においてはDIが頻繁に行われている。この結果は、ラットが認知地図情報によってアーム選択を行っているのではないことを示唆するものと考えられる。

このように、Brownらが行ったDIの分析方法は、選択効率(正選択数や誤選択数)には反映されない選択行動のダイナミクスを明らかにするための有効な手段といえる。しかし、頻度分析の結果のみからは、記憶情報処理のメカニズムやアーム選択に関する意思決定のプロセスの構造に迫ることは難しい。

そこでBrown (1992)は、新たな指標を用いてDIを分析し、ラットのアーム選択行動における意思決定プロセスについての特徴を報告した。“Does cognitive map guide choices in the radial-arm maze?”というタイトルのこの論文で彼は、アーム選択は認知地図情報ではなく、作業記憶情報に基づく逐次的な意思決定によって遂行されていることを示す仮説的モデルを発表した。

Brownはこの研究で、DIのターゲットとなるアームがいかなる基準のもとに選択されているのかについて検討している。彼は、連続してDIがなされたアーム間の距離分布を求め、それ

を実際のアーム進入の場合の距離分布と比較した。数々の研究(Foreman, 1985; Brown, 1990; Haga, 1995)で示されているのと同様に、アーム進入の距離分布には、直前に進入したアームに近接したアームに進入しやすい傾向が認められた。この傾向はDIにおいても認められたが、アーム進入の場合よりも顕著であった。アーム進入の場合、ひとつ隣りまたはふたつ隣りのアームの選択率は70%程度であったが、DIの場合は約90%であった。さらに、このような反応傾向に依存すると解決が困難な強制選択課題においても、両者の距離分布が比較されている。そこでは上記の反応傾向はアーム進入では消失したものの、DIでは依然として認められた。これらの結果は、課題手続きを問わず、DIは近接したアームに対して行われている傾向が強く、未選択アームに対して選択的になされているのではないことを示唆している。

Brownはさらに、DIが行われたアームの状態(未選択/既選択)と直後の行動(進入/非進入)との関係を信号検出理論に基づいて記述した。DIはその直後の行動結果によって、hit(未選択アームへのDI後に進入, 正選択), correct rejection(既選択アームへのDI後に非進入), miss(未選択アームへのDI後に非進入), false alarm(既進入アームへのDI後に進入, 誤選択)の4種類に分類される。Brownは、未選択アームへのDI後のhit率と既選択アームへのDI後のcorrect rejection(以下CR)率を指標に用いて、(1)アーム進入の増加にともなうアーム選択基準の推移と、(2)連続する2回のアーム進入の間に行われた複数のDIにおける選択基準の変化について分析を行っている。

アーム進入回数の増加にともなう推移に関して、自由選択課題では既選択アームへのDIの回数が非常に少ないためCR率の統計的検定は不可能であったが、hit率に関してはアーム進入回数にともなう変化は認められなかった。しかし強制選択課題では、強制選択後の自由選択場面において、hit率が進入回数にともなって上昇

することが確認された。

CR 率の推移に関しては、放射状迷路を用いて go/no-go 反応によるアーム弁別課題を行った Brown, Wheeler, & Riley (1989) の実験において分析されている。この実験では複数の強制選択後に 1 本のアームに通じるドアが開かれ、そのアームが未選択である場合にはアーム進入 (go), 既選択である場合にはプラットフォーム上の反応ボタンを押す (no-go) ことが要求された。実験の結果、強制選択回数が増加するにつれて、CR 率の上昇 (no-go 反応の増加) が認められた。hit 率と CR 率に関するこれらの結果は、アーム選択基準が進入回数の増加にともなうより厳格になっていったことを示唆している。

一方、連続する 2 回のアーム進入間に行われた DI の回数にともなう hit 率と CR 率の推移については、同様の傾向は認められなかった。Brown (1993) は、Brown (1992) の自由選択課題におけるデータについて、第 11 正選択と第 12 正選択 (最終正選択) の間に行われた DI の CR 率の推移を分析しているが、DI の回数にともなう変化は認められなかった。

以上の分析結果からは、(1) DI のターゲットとなるアームは、未選択/既選択の状態に関係なく選択される、(2) アーム選択基準はアーム選択回数の増加にともなうより厳格になる、(3) 次選択がなされるまでの DI における選択基準に変化はみられないことが示唆される。

Brown (1992) はこれらの実験所見をもとにして、放射状迷路での自由選択課題における選択行動に関する意思決定モデルを提出した (Figure 2)。このモデルには、アーム選択に関する意思決定が逐次的に行われる点、そして認知地図情報に基づく情報処理が仮定されていない点において、Olton (1978) の作業記憶モデル (Figure 3) との共通点を見出すことができる。確かに、Brown のモデルでは作業記憶プロセスの存在は直接的に記述されてはいない。しかし、DI がなされたアームに対してある選択基準の

Figure 2. Sequential choice model for rats arm-choice behavior. From “Does cognitive map guide choices in the radial-arm maze?” by M. F. Brown, 1992, *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 18, p.60. Copyright©1992 by the American Psychological Association. Reprinted with permission.

Figure 3. Information processing model for radial-maze behavior of rats. From *Cognitive processes in animal behavior* (p. 364), by S. H. Hulse, H. Fowler, and W. K. Honig (Eds.), 1978, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Copyright©1978 by Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Reprinted with permission.

下に意思決定が行われる過程は、明らかに作業記憶情報に基づくものといえる。したがって Brown のモデルは、Olton が示唆した作業記憶プロセスの機能をより詳細に表現したものといえるだろう。

4. 探索行動の試行間推移

試行経験の増加にともなう DI の出現頻度の変化に関して、前述の Olton & Samuelson (1976) の研究では、訓練開始から数日間のみで観察され、その後消失することが報告されている。またそれ以前の Tolman (1938) のジャンピング・スタンドを用いた視覚弁別実験では、課題習得直前に増加し、その後減少していくことが示されている。しかし、Haga (1997, in press) の研究では必ずしも同様の結果は確認されず、DI の頻度やアーム選択基準(hit 率と CR 率)は、課題要求の違いに応じて異なる変化を示すことが報告されている。

Haga (1997) は 8 アームの迷路を用い、1 試行あたりの強制選択回数異なる 0 Fo/8 Fr 群(強制選択 0 回, 自由選択 8 回), 3 Fo/5 Fr 群, 5 Fo/3 Fr 群の自由選択場面でのアーム選択行動を分析した。群間で自由選択回数は異なるが、

各試行の最終 3 回の自由選択における平均正選択数を比較したところ群差は認められなかった。しかし訓練の進行にともなう DI 頻度における群差は増大した。

Figure 4 からわかるように、訓練開始直後には群差が認められなかったものの、試行数の増加にともなうその差は顕著になった。訓練中盤から終盤にかけて 3 群間の頻度に有意差が認められ、強制選択回数が多いほど DI の頻度が高くなる傾向が示された。また hit 率と CR 率を比較したところ、hit 率に群差および試行にともなう変化は認められなかったが、0 Fo/8 Fr 群の CR 率は一貫して他の 2 群よりも低かった。また 3 Fo/5 Fr 群と 5 Fo/3 Fr 群の CR 率は訓練中盤で上昇した。

正選択数に差がみられなかったにもかかわらず、DI の頻度や CR 率に群差が認められたことは、ラットが課題要求に応じて異なった行動方略をとっていたことに起因するものと考えられる。強制選択回数が多く自由選択場面で未選択アームに遭遇する確率が低い 3 Fo/5 Fr 群や 5 Fo/3 Fr 群では、アーム進入前に DI を頻繁に行いながら正確に各アームの状態を弁別することによって課題を習得していったことが示唆さ

Figure 4. Mean number of door investigations (left) and mean probability of hit and correct rejection (right) in the last three free choices of a trial. From Haga (1997).

れる。一方、すべての選択が自由選択であった 0 Fo/8 Fr 群では、DI によらない別の方略を用いて課題を遂行していたものと推測される。これは、0 Fo/8 Fr 群の隣接アーム選択率が訓練中盤から終盤にかけて他の 2 群よりも有意に高かったことから支持される。最終 10 試行における平均隣接アーム選択率は、0 Fo/8 Fr 群で 67%、3 Fo/5 Fr で 48%、5 Fo/3 Fr では 28% であった。

上述の Haga (1997) の実験では、強制選択回数を変化させることによって課題解決の難易度を操作したが、自由選択場面で未選択のアームに進入するという解決ルールは群間で同じであった。そこで Haga (in press) では、強制選択アームと自由選択場面で報酬が配置されるアームとの関係进行操作することによって課題解決ルールを変化させた場合の遂行行動が比較されている。

この実験では、各群とも 1 試行は 4 回の強制選択と遅延後の 4 回の自由選択から構成された。しかし、E 8 B 群では強制選択で進入したアームに関係なく、自由選択場面では 8 アームすべてに報酬が配置された。また U 4 B 群では未選択の 4 アームに報酬が配置され、R 4 B 群

では実験者によって任意に選ばれた 4 アームに報酬が配置された。

実験の結果、訓練初期においては各群の選択行動に明らかな差異は認められなかったが、訓練の進行にともなって DI の頻度と隣接アーム選択率における群差が顕著にあらわれてきた (Figure 5)。すなわち、E 8 B 群と R 4 B 群では DI の頻度が訓練期間中ほとんど変化しなかったが、U 4 B 群では訓練中盤に有意に上昇した。隣接アーム選択率に関しては、U 4 B 群と R 4 B 群で徐々に低下したのに対して、E 8 B 群では訓練中盤において上昇する傾向が認められた。

これらの結果から、各群のラットは課題解決ルールに応じて異なった行動方略をとっていたことが示唆される。E 8 B 群では、強制選択で進入したアームについての記憶情報に依存せずに報酬のあるアームに進入することが可能であったため、隣接アームの連続選択という単純な反応連鎖方略によって課題を遂行していたと考えられる。また U 4 B 群では、Haga (1997) の実験における 3 Fo/5 Fr 群や 5 Fo/3 Fr 群と同様に、強制選択での既選択アームを回避することが要求されたため、DI の頻度が上昇していった

Figure 5. Mean number of door investigation (left) and mean percentage of adjacent-arm choices (right). From Haga (in press).

ものと考えられる。さらに R4B 群の場合、報酬がランダムに配置されたため効率的な選択行動は不可能であり、DI にも反応連鎖方略にも依存しないアーム選択を行ったと推測される。

以上のふたつの実験結果から、強制選択後に未選択アーム進入することが要求される課題事態においては、DI の頻度は試行数の増加にともなって上昇し、それと同期して選択効率も上昇することが示された。このことは、ラットの選択行動が作業記憶情報に基づいて遂行されていることを示唆している。

しかし、同じ強制選択課題においても、強制選択アームを試行間で固定した場合には、DI に依存することなく効率的なアーム選択を習得することが、芳賀 (1995) によって報告されている。この実験では、強制選択アームを試行間で固定した条件 (Fixed 群) と変化させた条件 (Changed 群) で DI の試行間推移が比較された。

実験の結果、Fixed 群と Changed 群の平均正選択数に有意差は認められなかったが、Fixed 群では訓練終盤に DI の頻度が低下することが示された (Figure 6)。このことは、Fixed 群で

は強制選択アームについての記憶情報を毎試行で更新する必要がなかったために、試行数の増加にともなって DI への依存度が低下していったことを示唆している。さらには、Fixed 群のラットは課題解決に利用する記憶情報を作業記憶的なものから、より長期に安定した認知地図的なものへと変化させていったとも考えられる。つまり、ラットは課題事態に応じて効率的なアーム選択に必要とされる認知的負荷 (記憶すべき情報量や情報処理の複雑さ) を低減させていったといえるだろう。

5. まとめ

本稿では放射状迷路課題におけるラットの探索行動を分析した研究を紹介したが、それらの実験結果の共通点は、課題解決には作業記憶情報に基づく情報処理過程が関与しているということである。試行終盤の選択で DI の頻度が上昇すること (Brown & Cook, 1986) や解決困難な課題で頻繁に DI が出現すること (Haga, 1997) は、作業記憶情報と感覚入力情報との逐次的なマッチングによって進入するアームが決定されることを示唆している。このことは、放射状迷路課題を含む各種の空間課題においてラットが認知地図を形成し、それを課題解決に利用していることを示した研究結果と一線を画したものともいえる。

それでは、放射状迷路課題の遂行に認知地図はまったく必要とされないであろうか。この問題について Brown (1993) は、プラットフォームから迷路外手がかりを利用することが困難な条件下では認知地図情報に基づいたアーム選択が行われることを示す実験結果を報告している。また芳賀 (1995) の実験で示されたように、強制選択アームが訓練期間中固定された場合にも認知地図が利用されている可能性が考えられる。

DI の分析結果は課題解決における認知地図仮説を否定するものではなく、課題要求の違いによって利用される記憶情報や処理過程が異なる

Figure 6. Mean number of door investigation and correct choices.

る可能性を示したものと理解するのが適当であろう。したがって、課題解決に利用される記憶情報の種類について検討する場合には、解決ルールや解決難易度などの問題を考慮する必要があるといえる。

引用文献

- Brown, M. F. 1990 The effects of maze-arm length on performance in the radial-arm maze. *Animal Learning and Behavior*, **18**, 13-22.
- Brown, M. F. 1992 Does cognitive map guide choices in the radial-arm maze? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **18**, 56-66.
- Brown, M. F. 1993 Sequential and simultaneous choice processes in the radial-arm maze. In T. R. Zentall (Ed.), *Animal cognition: A tribute to Donald A. Riley*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 153-173.
- Brown, M. F., & Cook, R. G. 1986 Within-trial dynamics of radial arm maze performance in rats. *Learning and Motivation*, **17**, 190-205.
- Brown, M. F., Rish, P. A., VonCulin, J. E., & Edberg, J. A. 1993 Spatial guidance of choice behavior in the radial-arm maze. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **19**, 195-214.
- Brown, M. F., Wheeler, E. A., & Riley, D. A. 1989 Evidence for a shift in the choice criterion in the radial-maze. *Animal Learning and Behavior*, **17**, 12-20.
- Foreman, N. 1985 Algorithmic responding on the radial maze in rats does not always imply absence of spatial encoding. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **37B**, 333-358.
- Gallistel, C. R. 1990 *The organization of learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 芳賀康朗 1994 放射状迷路におけるラットの選択行動の試行内・試行間での変化 動物心理学研究, **44**, 56.
- 芳賀康朗 1995 放射状迷路課題におけるラットのアーム探索行動の分析 動物心理学研究, **45**, 131.
- Haga, Y. 1995 Effects of food deprivation and food reward on the behavior of rats in the radial maze. *Japanese Psychological Research*, **37**, 252-257.
- Haga, Y. 1997 Comparisons of rats' choice behavior among three different radial-maze tasks. *Japanese Psychological Research*, **39**, 43-50.
- Haga, Y. 1998 Variation in arm-choice strategies of rats in the radial-maze tasks. *Japanese Psychological Research*. (In press)
- 岩崎庸男 1985 放射状迷路課題と向精神薬 田所作太郎(編) 抗痴呆薬の探求—学習と記憶の動物実験 星和書店 Pp. 61-71.
- Mazmanian, D. S., & Roberts, W. A. 1983 Spatial memory in rats under restricted viewing conditions. *Learning and Motivation*, **14**, 123-139.
- Muenzinger, K. F. 1938 Vicarious trial and error at a point of choice: I. A general survey of its relation to learning efficiency. *Journal of Genetic Psychology*, **53**, 75-86.
- Olton, D. S. 1978 Characteristics of spatial memory. In S. H. Hulse, H. Fowler, & W. K. Honig (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 341-373.
- Olton, D. S., & Samuelson, R. J. 1976 Remembrance of places past: Spatial memory in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **2**, 97-116.
- Roberts, W. A. 1979 Spatial memory in the rat on a hierarchical maze. *Learning and Motivation*, **10**, 117-140.
- Small, W. S. 1901 Experimental study of the mental process of the rat. II. *American Journal of Psychology*, **12**, 206-239.
- Suzuki, S., Augerinos, G., & Black, A. H. 1980

- Stimulus control of spatial behavior on the eight-arm maze in rats. *Learning and Motivation*, **11**, 1-18.
- Tolman, E. C. 1938 The determiners of behavior at a choice point. *Psychological Review*, **45**, 1-41.
- Tolman, E. C. 1939 Prediction of vicarious trial and error by means of the schematic sowbug. *Psychological Review*, **46**, 318-336.
- Zoladek, L., & Roberts, W. A. 1978 The sensory basis of spatial memory in the rat. *Animal Learning and Behavior*, **6**, 77-81.